

**PENENTUAN GANGGUAN BERDASARKAN DATA DISTURBANCE
FAULT RECORDER (DFR) PADA SALURAN UDARA TEGANGAN
TINGGI (SUTT) 150 KV**

LAPORAN TUGAS AKHIR

Laporan ini disusun untuk memenuhi Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana (S1) pada Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Sultan Agung



Disusun Oleh:

ATIN YUDI WIBOWO

30602200123

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG**

2025

***DETERMINATION OF FAULTS BASED ON DISTURBANCE FAULT
RECORDER (DFR) DATA ON 150 KV HIGH VOLTAGE OVERHEAD
TRANSMISSION LINES***

FINAL PROJECT

*Proposed to complete the requirements for obtaining a Bachelor's degree (S1) in
the Electrical Engineering Program
Faculty of Industrial Technology
Universitas Islam Sultan Agung*



Arranged By:

ATIN YUDI WIBOWO

30602200123

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING

FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG

SEMARANG

2025

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Atin Yudi Wibowo
NIM : 30602200123
Jurusan : Teknik Elektro
Fakultas : Teknologi Industri

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tugas Akhir yang diajukan dengan judul **“PENENTUAN GANGGUAN BERDASARKAN DATA DISTURBANCE FAULT RECORDER (DFR) PADA SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI (SUTT) 150 KV”** adalah hasil karya sendiri, tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di perguruan tinggi lain maupun ditulis dan diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam daftar pustaka. Tugas Akhir ini adalah milik saya segala bentuk kesalahan dan kekeliruan dalam Tugas Akhir ini adalah tanggung jawab saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab.

Semarang, 1 September 2025

Yang Menyatakan



Atin Yudi Wibowo

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul **“PENENTUAN GANGGUAN BERDASARKAN DATA DISTURBANCE FAULT RECORDER (DFR) PADA SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI (SUTT) 150 KV”** ini disusun oleh:

Nama : Atin Yudi Wibowo
NIM : 30602200123
Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada:

Hari : Senin
Tanggal : 1 September 2025

Pembimbing I


Dedi Nugroho, S.T., M.T.
NIDN : 0617126602

Mengetahui,

Ka. Program Studi Teknik Elektro



Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T.
NIDN : 0607018501

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul “**PENENTUAN GANGGUAN BERDASARKAN DATA DISTURBANCE FAULT RECORDER (DFR) PADA SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI (SUTT) 150 KV**” ini telah dipertahankan di depan Penguji sidang Tugas Akhir pada:

Hari : Senin

Tanggal : 1 September 2025

Tim Penguji

Tanda Tangan

Dr. Ir. Agus Adhi Nugroho, M.T., IPM.

NIDN : 0628086501

Ketua

Prof. Dr. Ir. Muhamad Haddin, M.T.

NIDN : 0618066301

Penguji I

.....

Dedi Nugroho, S.T., M.T.

NIDN : 0617126602

Penguji II

.....

HALAMAN MOTTO

“Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum, sehingga mereka mengubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri “

(QS. Ar-Ra'd : 11)

“Waktu itu bagaikan pedang, jika kamu tidak memanfaatkannya menggunakan untuk memotong, ia akan memotongmu (menggilasmu)”

(H.R. Muslim)

"Maka, setiap bertambah ilmuku, semakin bertambah aku tahu akan kebodohanku"

(Imam Asy-Syafi'i)

“Jika dirimu tidak disibukkan dengan hal-hal yang baik, pasti akan disibukkan dengan hal-hal yang batil”

(Ibnu Qayyim Al-Jauziyah)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Bismillah...

Kupersembahkan karya kecil ini untuk:

- 1. Istri tercinta Shinta Dhewi Permatasari, Anak-anak Muhammad Uwais Abdillah dan Shofiyah Andita Halimah, yang selalu penulis sayangi*
- 2. Bapak Haryadi & Ibu Sihmiyani beserta keluarga Haryadi Family, terimakasih atas do'a, dukungan, perjuangan,, dan kasih sayang yang tiada batas,*
- 3. Bapak Noto Hadi Prayitno & Ibu Wildani Permana Dhewi beserta keluarga Prayitno Family yang selalu memberi semangat kepada penulis*



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu Wata'ala yang telah mencurahkan rahmat, hidayah, inayah serta karunia sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul “PENENTUAN GANGGUAN BERDASARKAN DATA DISTURBANCE FAULT RECORDER (DFR) PADA SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI (SUTT) 150 KV”. Sholawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada junjungan Nabi besar Muhammad Solallahu ‘alaihi Wasallam yang telah membawa umat dari zaman Jahiliyah menuju zaman yang penuh dengan pengetahuan.

Laporan tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana (S1) di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung. terselesaikannya laporan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala hormat, penghargaan dan terima kasih diberikan dengan tulus kepada :

1. Ibu Dr. Ir. Novi Marlyana, ST., MT., Selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Ibu Jenny Putri Hapsari, ST., MT., Selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Bpk Dedi Nugroho, ST., MT., Selaku Dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan arahan dan bimbingan dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Seluruh Dosen dan Karyawan Jurusan Teknik elektro Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang tidak dapat disebutkan namanya satu-persatu yang telah banyak memberikan ilmu dan bantuannya yang sangat bermanfaat.
5. Keluarga penulis tercinta, Istri tercinta Shinta Dhewi Permatasari, Bapak Haryadi dan Ibu Sihmiyani, Bapak Noto Hadi Prayitno dan Ibu Wildani Permana Dhewi, adik penulis Dias Ratna sari, yang selalu memberikan doa dan dukungan sehingga penulis bisa tugas akhir ini dapat terselesaikan

6. Mahasiswa Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang angkatan 2022 selaku teman seperjuangan penulis.

Kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan untuk pengembangan lebih lanjut. Akhir kata, semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak dan bisa memperkaya ilmu pengetahuan, terutama untuk rekan-rekan Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung.

Semarang, 1 September 2025



Atin Yudi Wibowo



DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	ii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
HALAMAN MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
ABSTRAK	xvi
ABSTRACT	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Pembatasan Masalah	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Pengertian dan Klasifikasi Transmisi	6
2.2.1 Klasifikasi Berdasarkan Tempat Peletakan	7
2.2.2 Klasifikasi Berdasarkan Klasifikasi Tegangan	8
2.3 Pengertian dan Klasifikasi Gangguan	9
2.3.1 Klasifikasi Berdasarkan Jenis Padam	9
2.3.2 Klasifikasi Berdasarkan Penyebab Gangguan	11
2.3.3 Klasifikasi Berdasarkan Kategori Simetris	12
2.3.4 Klasifikasi Berdasarkan Durasi	13

2.3.5 Jenis Gangguan Pada Transmisi Yang Sering Terjadi	14
2.3.6 Dampak Terjadinya Gangguan.....	15
2.4 <i>Disturbance Fault Recorder</i> (DFR)	16
2.4.1 Kegunaan DFR.....	20
2.4.2 Blok Diagram DFR	22
2.4.3 Pembacaan Rekaman DFR.....	22
2.4.4 Karakteristik Gangguan berdasarkan rekaman DFR.....	24
2.5 <i>Lightning Detection System</i> (LDS).....	29
2.4.5 Kegunaan Analisis Data Sambaran Petir.....	30
2.4.6 Aplikasi Untuk menampilkan data sambaran petir	31
BAB III METODOLOGI.....	32
3.1 Model Penelitian.....	32
3.2 Lokasi dan waktu penelitian	34
3.3 Teknik pengumpulan data	34
3.4 Alat dan bahan	34
3.5 Cara Pengumpulan Data	35
3.5.1 Langkah download Rekaman DFR.....	35
3.5.2 Langkah download Rekaman LDS	39
3.6 Teknik Analisis Data	42
3.6.1 Ekstraksi & Pra-pemrosesan Data.....	42
3.6.2 Identifikasi data menggunakan <i>Time-Domain Analysis</i>	42
3.6.3 Memasukkan parameter data pendukung	42
3.6.4 Analisis penyebab gangguan.....	42
3.7 Diagram alir penelitian	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	44
4.1 Data Gangguan Transmisi	44
4.2 Analisis Data Rekaman DFR.....	45
4.2.1 Analisis gangguan disebabkan oleh petir	45
4.2.2 Analisis gangguan disebabkan oleh pohon	55
4.2.3 Analisis gangguan disebabkan oleh hewan.....	65
4.2.4 Analisis gangguan disebabkan oleh obyek terbang	75

4.2.5 Analisis gangguan disebabkan oleh konduktor putus	85
4.3 Rangkuman Analisis Rekaman DFR.....	91
4.4 Flowchart analisis DFR	93
BAB V PENUTUP.....	95
5.1 Kesimpulan.....	95
5.2 Saran	95
DAFTAR PUSTAKA	96



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Batasan Tegangan Sistem Berdasarkan Aturan Jaringan.....	6
Tabel 2.2 Klasifikasi Tegangan berdasarkan nominal	8
Tabel 4.1 Data gangguan transmisi tahun 2023	44
Tabel 4.2 Data gangguan transmisi tahun 2024	44



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Disturbance Fault Recorder merek Qualitrol	17
Gambar 2.2 Gelombang Sinusiodal Sempurna	19
Gambar 2.3 Blok diagram DFR	22
Gambar 2.4 Tampilan Waveform Viewer.....	23
Gambar 2.5 Petunjuk Pembacaan Pada Hasil Rekaman	23
Gambar 2.6 Rekaman DFR Gangguan Disebabkan Petir	25
Gambar 2.7 Korelasi Tegangan dan Arus Saat Gangguan Petir	25
Gambar 2.8 Rekaman DFR Gangguan Disebabkan Pohon	26
Gambar 2.9 Korelasi Tegangan dan Arus Saat Gangguan Pohon	26
Gambar 2.10 Rekaman DFR Gangguan Disebabkan Hewan	27
Gambar 2.11 Tampilan harmonisa tipikal gangguan hewan.....	28
Gambar 2.12 Rekaman DFR Gangguan Disebabkan Konduktor Putus	28
Gambar 2.13 Rekaman DFR Gangguan Disebabkan Flying Object.....	29
Gambar 2.14 Sensor LDS LS7002.....	30
Gambar 2.15 Tampilan aplikasi FALLS.....	31
Gambar 3. 1 Single Line Diagram Subsistem 150 KV Sumbar.....	32
Gambar 3. 2 Single Line Diagram Subsistem 150 KV Riau.....	33
Gambar 3. 3 Single Line Diagram Subsistem 150 KV Jambi.....	33
Gambar 3.4 Tampilan <i>login</i> DFR IQ+	35
Gambar 3.5 Tampilan menu awal DFR IQ+.....	36
Gambar 3.6 Tampilan pilihan segmen penghantar	36
Gambar 3.7 Tampilan <i>file directory</i>	37
Gambar 3.8 Tampilan menu DFR <i>Directory</i>	37
Gambar 3.9 Tampilan Menu <i>Data Analysis</i>	38
Gambar 3.10 Tampilan rekaman DFR yang berhasil didownload.....	38
Gambar 3.11 Tampilan utama aplikasi FALLS	39
Gambar 3.12 Memasukkan <i>asset</i> transmisi.....	39
Gambar 3.13 Memasukkan <i>asset</i> transmisi.....	40
Gambar 3.14 Tampilan menu <i>reliability analysis</i>	40
Gambar 3.15 Tampilan isian <i>reliability analysis</i>	41
Gambar 3.16 Hasil analisis sambaran petir.....	41
Gambar 3.17 Diagram alir Penelitian.....	43
Gambar 4.1 Rekaman gangguan PHT Duri-Balai Pungut 2	45
Gambar 4.2 Eviden lapangan gangguan PHT Duri-Balai Pungut 2.....	46
Gambar 4.3 Rekaman gangguan PHT Duri-Dumai 2	47
Gambar 4.4 Eviden lapangan gangguan PHT Duri-Dumai 2	48
Gambar 4.5 Rekaman gangguan PHT Kotopanjang-Bangkinang	49
Gambar 4.6 Eviden lapangan gangguan PHT Kotopanjang-Bangkinang.....	50
Gambar 4.7 Rekaman gangguan PHT Perawang-Siak 1	51
Gambar 4.8 Rekaman gangguan PHT Aurduri-Muara Tebo	52
Gambar 4.9 Rekaman gangguan PHT Sungai Rumbai-Muara Laboh 1	53

Gambar 4.10 Eviden lapangan gangguan PHT Sungai Rumbai-Muara Laboh 1 .	54
Gambar 4.11 Rekaman gangguan PHT Kiliranjao-Teluk Kuantan 2	55
Gambar 4.12 Eviden lapangan gangguan PHT Kiliranjao-Teluk Kuantan 2.....	56
Gambar 4.13 Rekaman gangguan PHT Payakumbuh-Kotopanjang 1.....	57
Gambar 4.14 Eviden lapangan gangguan PHT Payakumbuh-Kotopanjang 1	58
Gambar 4.15 Rekaman gangguan PHT Bangko-Sungai Penuh 1.....	59
Gambar 4.16 Eviden lapangan gangguan PHT Bangko-Sungai Penuh 1	60
Gambar 4.17 Rekaman gangguan PHT Duri-Bagan Batu 1	61
Gambar 4.18 Eviden Lapangan gangguan PHT Duri-Bagan Batu 1	62
Gambar 4.19 Rekaman gangguan PHT Kiliranjao-Ombilin 1.....	63
Gambar 4.20 Eviden lapangan gangguan PHT Kiliranjao-Ombilin 1	64
Gambar 4.21 Rekaman gangguan PHT Duri-Bagan Batu 1	65
Gambar 4.22 Eviden lapangan gangguan PHT Duri-Bagan Batu 1.....	66
Gambar 4.23 Rekaman gangguan PHT Bangkinang-Garuda Sakti	67
Gambar 4.24 Eviden lapangan gangguan PHT Bangkinang-Garuda Sakti	68
Gambar 4.25 Rekaman gangguan PHT Ombilin-Batusangkar 2	69
Gambar 4.26 Eviden lapangan gangguan PHT Ombilin-Batusangkar 2	70
Gambar 4.27 Rekaman gangguan PHT Rengat-Pangkalan Kerinci 2	71
Gambar 4.28 Eviden lapangan gangguan PHT Rengat-Pangkalan Kerinci 2.....	72
Gambar 4.29 Rekaman gangguan PHT Dumai-KID 1	73
Gambar 4.30 Eviden lapangan gangguan PHT Dumai-KID 1.....	74
Gambar 4.31 Rekaman gangguan PHT Ombilin-Batusangkar 1	75
Gambar 4.32 Eviden lapangan gangguan PHT Ombilin-Batusangkar 1	76
Gambar 4.33 Rekaman gangguan PHT Payakumbuh-Koto Panjang 1	77
Gambar 4.34 Eviden lapangan gangguan PHT Payakumbuh-Koto Panjang 1	78
Gambar 4.35 Rekaman gangguan PHT Ombilin-Indarung	79
Gambar 4.36 Eviden lapangan gangguan PHT Ombilin-Indarung.....	80
Gambar 4.37 Rekaman gangguan PHT Duri-Balai Pungut 1	81
Gambar 4.38 Eviden lapangan gangguan PHT Duri-Balai Pungut 1	82
Gambar 4.39 Rekaman gangguan PHT Maninjau-Simpang Empat	83
Gambar 4.40 Eviden lapangan gangguan PHT Maninjau-Simpang Empat.....	84
Gambar 4.41 Rekaman gangguan PHT Duri-Bagan Batu 1	85
Gambar 4.42 Eviden lapangan gangguan PHT Duri-Bagan Batu 1.....	86
Gambar 4.43 Rekaman gangguan PHT Balai Pungut-New Garuda Sakti 2	87
Gambar 4.44 gangguan PHT Balai Pungut-New Garuda Sakti 2	88
Gambar 4.45 Rekaman gangguan PHT Singkarak-Lubuk Alung 2.....	89
Gambar 4.46 Eviden lapangan gangguan PHT Singkarak-Lubuk Alung 2.....	90
Gambar 4.47 Diagram Alir Analisis Gangguan Transmisi.....	94

ABSTRAK

Berdasarkan data gangguan transmisi tahun 2023, PLN UP2B Sumbagteng sebagai unit pelaksana pengatur beban untuk wilayah Sumatera Bagian Tengah yang meliputi Provinsi Sumatera Barat, Riau, dan Jambi mencatat sebanyak 230 kali gangguan pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV. Salah satu indikator kinerja penting yang harus dipenuhi adalah kecepatan pemulihan dan ketepatan analisis terhadap gangguan tersebut. Dari total gangguan yang terjadi, 205 gangguan berhasil dianalisis dengan tepat penyebab gangguannya, sedangkan 25 gangguan mengalami kesalahan analisis. Total energi listrik yang tidak tersalurkan ke pelanggan akibat gangguan penghantar mencapai 1221 MWh.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan penyebab gangguan transmisi berbasis rekaman *Disturbance Fault Recorder* (DFR) kemudian disajikan dalam diagram alir, yang dapat dijadikan sebagai panduan operasional dalam mengidentifikasi penyebab gangguan pada sistem transmisi, khususnya sistem transmisi 150 kV di PLN UP2B Sumbagteng

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa berdasarkan analisis data rekaman DFR 2 tahun terakhir didapatkan 5 jenis penyebab gangguan SUTT antara lain petir dengan ciri khas *drop* tegangan kurang dari 0.6 p.u, lalu gangguan karena pohon dengan ciri-ciri terjadi kenaikan arus netral (IN) lebih dari 120 ms, lalu gangguan karena hewan dengan ciri khas muncul harmonisa orde ke- 2, 4, 6 lebih dari 3% dan *total harmonic distortion* (THD) lebih besar dari 20%, lalu gangguan karena obyek terbang dengan ciri khas tidak muncul arus netral (IN) saat gangguan, dan konduktor putus dengan ciri khas adanya penurunan arus mendekati 0 (nol) pada fasa yang mengalami gangguan. Sehingga diharapkan proses pengambilan keputusan oleh dispatcher dapat dilakukan dengan lebih cepat dan tepat untuk meminimalkan kesalahan analisis serta mempercepat proses pemulihan sistem.

Kata kunci: Penentuan gangguan, SUTT 150 KV, Analisis Rekaman DFR.

ABSTRACT

In 2023, PLN UP2B Sumbagteng, as the load control unit for the Central Sumatra region covering West Sumatra, Riau, and Jambi Provinces, recorded 230 disturbances on the 150 kV High Voltage Overhead Transmission Line (SUTT). One of the key performance indicators in transmission system operations is the speed of system restoration and the accuracy of disturbance analysis. Of the total disturbances, 205 were accurately analyzed to determine their causes, while 25 were misclassified. The total unserved energy resulting from these conductor disturbances reached 1,221 MWh.

This study aims to identify the causes of transmission disturbances based on Disturbance Fault Recorder (DFR) data, which are then presented in the form of a flowchart to serve as an operational guideline for disturbance identification in the transmission system, particularly the 150 kV network managed by PLN UP2B Sumbagteng.

The analysis of DFR recordings over the past two years revealed five primary causes of SUTT disturbances: lightning, indicated by a voltage drop of less than 0.6 p.u; vegetation contact, indicated by a neutral current (IN) rise exceeding 120 ms; animal contact, indicated by the presence of 2nd, 4th, and 6th harmonic orders exceeding 3% and total harmonic distortion (THD) greater than 20%; airborne objects, indicated by the absence of neutral current (IN) during the disturbance; and broken conductors, indicated by a current reduction approaching zero in the affected phase. These findings are expected to support faster and more accurate decision-making by dispatchers, thereby minimizing misanalysis and accelerating system restoration.

Keywords: fault identification, 150 kV transmission line, DFR analysis.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT PLN UP2B Sumbagteng yaitu singkatan dari Unit Pelaksana Pengatur Beban Sumatera Bagian Tengah adalah unit yang mengatur sistem kelistrikan Sumatera bagian tengah. Subsistem Sumbagteng meliputi Riau, Sumatera Barat, dan Jambi. Dalam pengoperasiannya, sistem kelistrikan Sumatera bagian tengah menggunakan beberapa level tegangan, yaitu 500 kV, 275 kV, dan 150 kV. Permasalahan pada sistem transmisi di PLN UP2B Sumbagteng adalah gangguan yang disebabkan karena pohon, binatang, pihak eksternal, dan faktor alam. Gangguan yang disebabkan karena petir adalah yang paling banyak pada saat musim hujan dikarenakan tingkat kerapatan petir yang tinggi di wilayah sumatera.

Dampak dari gangguan transmisi yang terjadi dibagi menjadi dua, pertama gangguan temporer artinya jika gangguan sudah hilang (misalnya petir) maka sistem akan secara otomatis normal kembali dengan sistem autoreclose, kemudian yang kedua adalah gangguan permanen yang dapat menyebabkan terputusnya aliran daya listrik ke pelanggan, bahkan dapat menyebabkan padam meluas (*black out*).

Oleh sebab itu PLN UP2B Sumbagteng memasang peralatan perekam gangguan yaitu *disturbance fault recorder* (DFR) untuk monitoring tegangan, arus dan sinyal dari pemutus tenaga (PMT), agar ketika terjadi gangguan SUTT maka dispatcher dapat melakukan analisis data DFR untuk mengidentifikasi penyebab gangguan. Berdasarkan data verifikasi gangguan transmisi PLN UP2B Sumbagteng tahun 2023 tercatat total 230 kali jumlah gangguan transmisi yang mana *dispatcher* tepat melakukan analisis penyebab gangguan sebanyak 205 kali, dan 25 kali salah analisis. Sehingga di tahun 2023 sebesar 1221 MWH energi yang tidak dapat tersalurkan ke pelanggan. Meskipun DFR mampu merekam data gangguan secara detail, perangkat ini belum dapat secara langsung menganalisis dan mengklasifikasikan penyebab gangguan. Hal ini seringkali menyulitkan *dispatcher*

dalam mengambil keputusan yang cepat dan tepat. Oleh karena itu, diperlukan suatu *tools* yang dapat membantu proses analisis gangguan berbasis data DFR. Dalam penelitian ini, penulis menyajikan rancangan diagram analisis gangguan sebagai panduan operasional bagi *dispatcher*. Dengan adanya panduan tersebut, diharapkan proses identifikasi penyebab gangguan dapat dilakukan lebih cepat, akurat, serta mendukung peningkatan keandalan sistem transmisi tenaga listrik di wilayah PLN UP2B Sumbagteng.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana cara mengidentifikasi penyebab gangguan berdasarkan data rekaman DFR?
2. Bagaimana cara menentukan penyebab gangguan berdasarkan rekaman DFR dengan melihat besaran tegangan dan besaran arus baik sebelum (*prefault*), pada saat gangguan (*fault*) maupun setelah gangguan (*post fault*)?
3. Bagaimana membuat suatu *tools* untuk membantu *dispatcher* dalam menganalisis penyebab gangguan transmisi dari data rekaman DFR?
4. Bagaimana cara memvalidasi ketepatan *tools* analisis gangguan dengan penyebab gangguan yang sebenarnya?

1.3 Pembatasan Masalah

Metode analisis rekaman DFR ini digunakan untuk mengetahui jenis gangguan yang terjadi pada SUTT 150 kV yang sudah terpasang fasilitas DFR Qualitrol dan hanya menentukan penyebab gangguan karena petir, pohon, hewan, obyek terbang, dan konduktor putus di Wilayah kerja PT PLN UP2B Sumatera Bagian Tengah.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini antara lain :

1. Dihasilkannya pola penyebab gangguan SUTT 150 KV berdasarkan rekaman DFR meliputi gangguan yang disebabkan karena petir, pohon, hewan, obyek terbang dan konduktor putus.
2. Dihasilkan suatu tools analisis rekaman gangguan berdasarkan rekaman DFR yang disajikan dalam bentuk diagram alir, yang digunakan sebagai pedoman analisis gangguan SUTT 150 KV.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini antara lain :

1. Didapatkan suatu tools analisis gangguan yaitu berupa diagram alir sebagai pedoman untuk menganalisis gangguan SUTT 150 KV. Sehingga proses analisis menjadi lebih cepat dan tepat.
2. Untuk meminimalisir kesalahan dalam menganalisis gangguan sistem transmisi tenaga listrik.
3. Untuk menekan angka energi listrik yang tidak tersalurkan ke pelanggan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan bertujuan untuk mempermudah dan penelaahan penelitian. Dalam penulisan Tugas Akhir ini dan untuk mendapatkan gambaran secara umum tentang pokok pembahasan, penulis membaginya dalam lima bab, masing-masing uraian yang secara garis besar dapat dijelaskan sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menguraikan latar belakang dilakukannya penelitian mengenai analisis rekaman DFR untuk menentukan penyebab gangguan SUTT 150 kV , tujuan penelitian, manfaat penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan diuraikan perbandingan penelitian ini disbanding dengan hasil penelitian terdahulu, dan menjelaskan landasan teoritis sebagai menunjang penyusunan tugas akhir ini, diantaranya dijelaskan rincian peralatan perekam gangguan dan klasifikasi gangguan transmisi.

BAB III METODE PENELITIAN

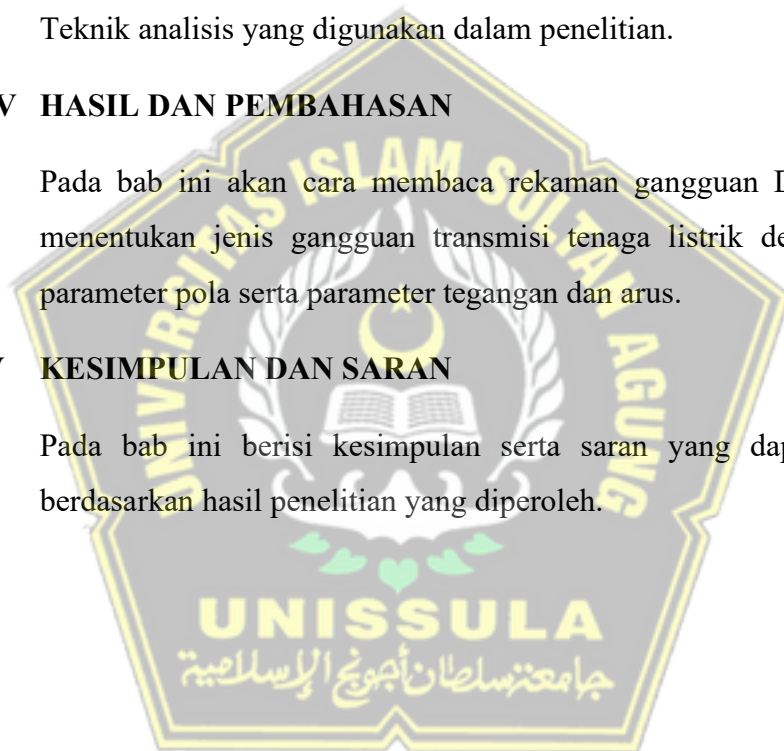
Pada bab ini dijelaskan mengenai sumber data, pengumpulan data, dan Teknik analisis yang digunakan dalam penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan cara membaca rekaman gangguan DFR dan cara menentukan jenis gangguan transmisi tenaga listrik dengan melihat parameter pola serta parameter tegangan dan arus.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisi kesimpulan serta saran yang dapat dilakukan berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh.



BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Berbagai metode yang diterapkan untuk menganalisis gangguan pada sistem transmisi tenaga listrik adalah berbasis *Disturbance Fault Recorder* (DFR). Tinjauan pustaka yang dilakukan menemukan beberapa penelitian.

Penelitian yang dilakukan oleh Abdullah Asuhaimi Mohd Zin & Ir. Dr. Sazali P. Abdul Karim (2007), *The Application of Fault Signature Analysis* in Tenaga Nasional Berhad yang menyebutkan bahwa suatu gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik menghasilkan ciri yang serupa, gangguan yang diidentifikasi antara lain: sambaran petir, menempelnya pohon, isolator polutan, konduktor terkena crane, konduktor putus dan transformer meledak.

Penelitian yang dilakukan oleh Fajar Rosdianto (2017), Analisis Data DFR Sebagai Alat Bantu Penentuan Jenis Penyebab dan Lokasi Gangguan Pada Gangguan Saluran Udara Tegangan Tinggi Satu Fase ke Tanah, yang mengidentifikasi gangguan karena tegakan pohon, sambaran petir, dan karena konduktor putus, disertai dengan penentuan jarak lokasi gangguan.

Penelitian yang dilakukan oleh Chanra andi saputra (2020), analisis gangguan sistem transmisi menggunakan DFR dan menentukan titik lokasi gangguan menggunakan *Traveling Wave Sistem* (TWS), yang menyebutkan identifikasi gangguan akibat sambaran petir, pohon, layang-layang, gangguan transformator, swing, dan isolator polutan.

2.2 Pengertian dan Klasifikasi Transmisi

Transmisi tenaga listrik adalah proses penyaluran energi listrik dari pusat pembangkit ke pusat beban menggunakan saluran transmisi. Saluran ini menggunakan tegangan tinggi untuk mengurangi rugi daya selama transmisi. Di Indonesia, sistem transmisi umumnya menggunakan tegangan tinggi 70 kV, 150 kV, hingga tegangan ekstra tinggi 275 kV dan 500 kV.

Saluran transmisi sendiri dapat berupa saluran udara (*overhead line*), saluran kabel bawah tanah, atau kombinasi dari keduanya. Masing-masing memiliki sistem proteksi tersendiri yang disesuaikan dengan karakteristik jenis saluran tersebut. Namun, pada saluran transmisi kombinasi (udara dan kabel), sistem proteksi harus dirancang secara terpisah untuk masing-masing bagian, sesuai standar PLN.

Adapun batasan tegangan sistem transmisi berdasarkan aturan jaringan dalam SPLN T6.001:2013 Tegangan-Tegangan Standar dinyatakan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Batasan Tegangan Sistem Berdasarkan Aturan Jaringan

Tegangan Nominal	Batas Toleransi Operasi Normal
500 kV	+5%, -5%
275 kV	+5%, -5%
150 kV	+5%, -10%
70 kV	+5%, -10%
20 kV	+5%, -10%

Konstruksi saluran transmisi pada umumnya terdiri dari konduktor yang direntangkan di antara tiang-tiang atau menara (tower), dikenal sebagai Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) atau Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET), yang dilengkapi dengan isolator sebagai media penyekat antara konduktor dan struktur pendukung. Rancangan konstruksi ini diatur lebih lanjut dalam SPLN T5.014-1:2021, yang mengatur standar desain tower dan struktur pendukung lainnya dalam sistem transmisi udara.

2.2.1 Klasifikasi Berdasarkan Tempat Peletakan

Saluran transmisi tenaga listrik dapat diklasifikasikan berdasarkan tempat peletakkannya menjadi tiga jenis utama: saluran udara, saluran kabel bawah tanah, dan saluran kabel bawah laut. Masing-masing jenis memiliki karakteristik teknis, keunggulan, dan kelemahan tersendiri dalam penerapannya.

1. Saluran Udara (SUTT/SUTET)

Saluran udara adalah bentuk paling umum dari saluran transmisi, di mana konduktor dipasang secara terbuka dan ditopang oleh menara atau tiang (tower), dengan menggunakan isolator sebagai media penyekat antara konduktor dan struktur penopang.

Keuntungan:

- Memiliki kemudahan dalam perluasan jaringan (ekspansi)
- Cocok untuk daerah dengan kepadatan beban rendah atau pedesaan
- Gangguan mudah dideteksi dan diperbaiki karena bersifat terbuka
- Struktur tower dapat dimanfaatkan untuk keperluan lain seperti penempatan transformator distribusi (gardu tiang)

Kekurangan:

- Rentan terhadap gangguan eksternal seperti pohon, angin, petir, dan binatang
- Membutuhkan ruang bebas *right of way* (ROW) yang cukup besar
- Berdampak pada estetika lingkungan terutama di daerah perkotaan

2. Saluran Kabel Bawah Tanah (*Underground Transmission Cable*)

Saluran kabel bawah tanah merupakan alternatif bagi wilayah dengan kepadatan tinggi, terutama di daerah perkotaan dan kawasan industri, di mana keterbatasan ruang dan estetika menjadi perhatian utama. Kabel yang umum digunakan adalah jenis *Cross-Linked Polyethylene* (XLPE).

Keuntungan:

- Tidak terpengaruh oleh gangguan eksternal seperti cuaca atau kontak fisik
- Aman terhadap sentuhan manusia dan hewan, serta tidak mengganggu estetika

Kekurangan:

- Sulit mendeteksi dan menangani gangguan (*fault location*)
- Proses perbaikan membutuhkan waktu lebih lama
- Biaya instalasi dan pemeliharaan lebih tinggi dibanding saluran udara

3. Saluran Kabel Bawah Laut (*Submarine Cable*)

Saluran kabel bawah laut digunakan untuk mentransmisikan tenaga listrik antar pulau, terutama di negara kepulauan seperti Indonesia. Kabel jenis ini didesain khusus agar tahan terhadap kondisi ekstrem bawah laut, termasuk tekanan, arus laut, dan gangguan lingkungan. Umumnya menggunakan kabel berinti tunggal atau tiga inti (*single/three-core submarine cable*). Dilengkapi lapisan pelindung logam, isolasi tahan air, dan lapisan pelindung mekanis.

Keuntungan:

- Solusi transmisi antar pulau yang tidak memungkinkan dengan saluran udara
- Tidak mengganggu lalu lintas laut jika ditanam di dasar laut

Kekurangan:

- Biaya sangat tinggi, baik instalasi maupun pemeliharaan
- Akses untuk perbaikan sangat terbatas

2.2.2 Klasifikasi Berdasarkan Klasifikasi Tegangan

Klasifikasi tegangan sistem berdasarkan SPLN T6.001:2013 tentang klasifikasi tegangan berdasarkan besaran nominal dan rentang toleransinya ditunjukkan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Klasifikasi Tegangan berdasarkan nominal

Kategori Tegangan	Rentang Tegangan
Tegangan Ekstra Tinggi	> 245 kV
Tegangan Tinggi	> 35 kV – 245 kV
Tegangan Menengah	> 1 kV – 35 kV
Tegangan Rendah	≤ 1 kV

2.3 Pengertian dan Klasifikasi Gangguan

Gangguan (*fault*) dalam sistem tenaga listrik adalah kondisi tidak normal yang mengakibatkan penyimpangan arus dan tegangan dari nilai nominalnya. Gangguan menyebabkan aliran arus yang tidak seimbang, tidak stabil, atau bahkan sangat besar, yang dapat membahayakan keandalan sistem dan peralatan. Dalam sistem tiga fasa, gangguan dapat berupa hubungan singkat (*short circuit*), gangguan fasa ke tanah, kehilangan satu atau lebih fasa, hingga cacat isolasi antar konduktor.

Menurut SPLN D3.010:1995 tentang proteksi sistem tenaga listrik, gangguan didefinisikan sebagai suatu kondisi abnormal yang mengharuskan pemutusan sebagian sistem untuk mencegah kerusakan yang lebih besar dan menjaga kontinuitas pasokan listrik pada bagian jaringan yang tidak terganggu. Tujuan dari analisis gangguan adalah untuk memastikan keandalan sistem proteksi dan keselamatan peralatan, serta mendukung stabilitas sistem tenaga. Tujuan utamanya antara lain:

- Mengevaluasi performa dan keandalan kerja rele proteksi dalam mendeteksi dan memutuskan gangguan dengan cepat dan tepat
- Mengidentifikasi arus hubung singkat (I_{Fault}) dan menentukan apakah arus tersebut masih dalam batas kemampuan pemutus tenaga
- Mengetahui distribusi arus gangguan dan kondisi tegangan pada berbagai titik sistem selama gangguan, guna mendukung perencanaan isolasi dan koordinasi sistem proteksi
- Menentukan lokasi gangguan dan mempercepat proses penormalan sistem

2.3.1 Klasifikasi Berdasarkan Jenis Padam

Dalam sistem ketenagalistrikan, pemadaman listrik (*outage*) dapat diklasifikasikan berdasarkan penyebab dan sifat kejadiannya. Klasifikasi ini penting untuk analisis keandalan sistem, perencanaan pemeliharaan, serta evaluasi risiko operasional. Berdasarkan praktik di lingkungan PT PLN dan mengacu pada standar operasi sistem tenaga, terdapat empat kategori utama pemadaman :

1. *Planned and Unplanned Outage* (Pemadaman Terencana dan Tidak Terencana)

Planned Outage atau pemadaman terencana adalah pemadaman yang telah dijadwalkan sebelumnya untuk keperluan tertentu, seperti:

- *Preventive Maintenance*: Pemeliharaan berkala terhadap peralatan listrik untuk mencegah kerusakan.
- *Corrective Maintenance*: Perbaikan akibat adanya anomali atau potensi gangguan yang ditemukan saat inspeksi rutin.

Unplanned Outage dalam konteks ini mengacu pada pemadaman mendadak yang tidak termasuk kategori darurat atau gangguan permanen, misalnya karena cuaca ekstrem atau human error yang tidak direncanakan tetapi belum menyebabkan trip peralatan utama.

2. *Emergency Outage* (Pemadaman Darurat)

Pemadaman darurat adalah pemadaman yang terjadi secara tiba-tiba namun diminta atau diperintahkan secara cepat untuk mencegah kerusakan lebih besar (*preventive protection*). Kategori ini memerlukan tindakan dalam waktu kurang dari 24 jam sejak ditemukannya potensi bahaya, seperti:

- *Hotspot* atau titik panas pada isolator, sambungan konduktor, atau peralatan lainnya berdasarkan hasil thermovision.
- *Gas leakage* pada pemutus tenaga gas SF₆.
- Kegagalan fungsi proteksi atau kontrol pada peralatan utama.

Jenis ini bersifat reaktif namun terkontrol, dan tetap membutuhkan persetujuan pengatur sistem (*dispatcher*).

3. *Forced Outage* (Pemadaman Akibat Gangguan)

Forced outage adalah pemadaman yang terjadi tanpa peringatan sebelumnya akibat adanya gangguan mendadak dan bersifat permanen, seperti:

- Hubung singkat (*short circuit*).
- Kerusakan isolasi.
- Trip otomatis oleh sistem proteksi karena arus gangguan melebihi setting

Forced outage mengakibatkan terputusnya aliran tenaga listrik secara tiba-tiba dan memerlukan analisis gangguan (*fault analysis*) serta proses penormalan sistem (*restoration*). Jenis pemadaman ini memiliki dampak operasional terbesar karena biasanya memengaruhi keandalan dan memicu pengurangan beban (*load shedding*).

2.3.2 Klasifikasi Berdasarkan Penyebab Gangguan

Gangguan pada sistem tenaga listrik dapat diklasifikasikan berdasarkan asal penyebabnya, yang secara umum terbagi menjadi dua kelompok besar: gangguan sistemik (internal) dan gangguan eksternal (non-sistemik). Pemahaman klasifikasi ini penting dalam proses analisa gangguan (*fault analysis*) untuk menentukan strategi proteksi dan mitigasi risiko yang sesuai.

1. Gangguan Sistem

Merupakan gangguan yang berasal dari komponen atau kondisi internal sistem tenaga listrik itu sendiri. Gangguan ini dapat terjadi pada peralatan utama seperti transformator, pemutus tenaga, konduktor, serta sistem kontrol dan proteksi. Gangguan sistem dibagi menjadi dua kategori:

a) Gangguan sistem aktif

Disebut juga gangguan aktif, yaitu gangguan yang langsung menyebabkan hubungan singkat (*short circuit*), arus gangguan tinggi, dan lonjakan tegangan. Penyebab utamanya meliputi:

- Sambaran petir langsung pada saluran transmisi
- Hubungan singkat akibat konduktor bersentuhan langsung
- Kegagalan isolasi pada peralatan (transformator, pemutus tenaga, isolator)
- Ledakan CT / PT
- Gangguan internal trafo tenaga
- Flashover pada celah udara akibat polusi atau kelembaban tinggi

b) Gangguan sistem pasif

Merupakan gangguan laten yang tidak langsung menyebabkan hubungan singkat tetapi mengganggu kestabilan sistem. Termasuk dalam kategori ini adalah:

- *Over Voltage*: Tegangan melebihi batas nominal yang dapat merusak peralatan
- *Over/Under Frequency*: Frekuensi di luar rentang toleransi (50 ± 0.5 Hz)
- *Overloading*: Arus beban melebihi kapasitas nominal peralatan
- *Power Swing*: Osilasi tegangan dan arus yang disebabkan ketidakseimbangan daya antar sistem

Meskipun tidak menyebabkan trip langsung, fault pasif tetap dapat memicu gangguan aktif jika tidak segera ditangani

2.3.3 Klasifikasi Berdasarkan Kategori Simetris

Gangguan dalam sistem tenaga listrik juga dapat diklasifikasikan berdasarkan kesimetrian arus dan tegangan pada masing-masing fasa setelah terjadi gangguan. Klasifikasi ini penting dalam analisis gangguan tak seimbang dan sangat mempengaruhi metode perhitungan arus gangguan serta desain sistem proteksi.

1. Gangguan Asimetris

Gangguan asimetris terjadi apabila arus dan tegangan pada masing-masing fasa menjadi tidak seimbang. Ini adalah jenis gangguan yang paling sering terjadi dalam sistem tenaga listrik dan memerlukan metode analisis khusus seperti komponen urutan simetris (*symmetrical components*). Jenis-jenis gangguan asimetris meliputi:

- Gangguan 1 Fasa Tanah: Hubung singkat antara satu fasa dan tanah
- Gangguan antar Fasa : Hubung singkat antara dua fasa
- Gangguan 2 Fasa Tanah: Hubung singkat antara dua fasa dan tanah

Gangguan asimetris menyebabkan ketidakseimbangan sistem yang signifikan dan dapat menimbulkan torsi puntir pada motor listrik serta gangguan operasional pada peralatan berfasa tiga.

2. Gangguan Simetris

Gangguan simetris terjadi ketika semua fasa mengalami gangguan secara seimbang, sehingga meskipun arus gangguan sangat besar, sistem tetap berada dalam kondisi simetris. Jenis gangguan ini meliputi:

- Gangguan 3 Fasa : Hubung singkat ketiga fasa tanpa hubungan ke tanah
- Gangguan 3 Fasa Tanah : Hubung singkat antara ketiga fasa dan tanah

Walaupun jarang terjadi, gangguan simetris merupakan gangguan paling berat karena menghasilkan arus gangguan tertinggi. Oleh karena itu sering digunakan dalam perhitungan kapasitas pemutus tenaga (PMT).

2.3.4 Klasifikasi Berdasarkan Durasi

Gangguan pada sistem tenaga listrik tidak hanya diklasifikasikan berdasarkan jenis dan penyebabnya, tetapi juga berdasarkan lamanya gangguan tersebut berlangsung, yang secara umum dibedakan menjadi dua kategori utama: gangguan temporer (*transient*) dan permanen (*permanent*).

1. Gangguan *Transient* / Temporer

Gangguan temporer adalah gangguan yang hilang dengan sendirinya dalam waktu singkat setelah arus gangguan terputus oleh sistem proteksi, biasanya melalui pelepasan sesaat oleh pemutus tenaga (*circuit breaker*). Gangguan jenis ini bersifat tidak permanen dan sistem dapat dioperasikan kembali tanpa perbaikan fisik. Ciri-ciri gangguan temporer adalah:

- Terjadi hanya dalam beberapa siklus (milidetik hingga beberapa detik)
- Tidak merusak peralatan secara permanen
- Hilang secara alami atau dengan intervensi dari sistem proteksi otomatis

Contoh penyebab gangguan temporer adalah sambaran petir yang hanya menyentuh konduktor sesaat, dahan pohon menyentuh konduktor dan terlepas kembali karena angin, hewan kecil menyentuh dan segera jatuh dari peralatan. Gangguan temporer ini dapat menjadi gangguan permanen apabila tidak segera hilang atau jika peralatan mengalami kerusakan lanjutan akibat lonjakan arus.

2. Gangguan Permanen

Gangguan permanen adalah gangguan yang tidak akan hilang meskipun sistem dimatikan sementara, dan hanya dapat diatasi setelah dilakukan perbaikan atau penggantian komponen yang rusak. Ciri-ciri gangguan permanen adalah sebagai berikut:

- Gangguan tetap ada walaupun pemutus tenaga sudah terbuka
- Memerlukan intervensi manual dan/atau perbaikan teknis
- Tidak bisa dipulihkan secara otomatis

Contoh penyebab gangguan permanen ini adalah kabel saluran bawah tanah putus atau terbakar, isolator pecah akibat arus gangguan tinggi, tower transmisi roboh akibat bencana alam, CT/CVT meledak dan sebagainya.

2.3.5 Jenis Gangguan Pada Transmisi Yang Sering Terjadi

Gangguan pada sistem transmisi tenaga listrik yang terjadi pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) sebagian besar bersifat *transient* (sementara) yang jumlahnya mencapai sekitar 70–90% dari total gangguan. Sisanya merupakan gangguan semi permanen dan permanen. Untuk menjaga kontinuitas penyaluran daya listrik, sistem proteksi transmisi dilengkapi dengan autorecloser, khususnya pada gangguan sementara agar tidak berubah ke tahap gangguan permanen.

1. Penyebab Gangguan pada Saluran Udara Tegangan Tinggi
 - a) Layang Layang
 - b) Pohon
 - c) Petir
 - d) Kerusakan Konduktor
 - e) Binatang
 - f) Isolator Polutan
2. Penyebab Gangguan pada Saluran Kabel Tegangan Tinggi
 - a) *Overload*
 - b) *Aging*/Umur
 - c) Penggalian Tanah
 - d) *Oil Leakage*

Saluran kabel yang terdampak gangguan umumnya bersifat permanen, sehingga tidak diperlukan pemasangan *autorecloser*. Hal ini dikarenakan *autorecloser* dirancang untuk mengatasi gangguan sementara, sementara gangguan pada saluran kabel umumnya bersifat permanen sehingga memerlukan investigasi.

2.3.6 Dampak Terjadinya Gangguan

Gangguan pada sistem transmisi tenaga listrik memiliki konsekuensi serius terhadap keandalan dan stabilitas sistem. Ketika gangguan terjadi, beberapa dampak utama yang ditimbulkan antara lain:

1. Kerusakan Peralatan Listrik

Gangguan arus besar seperti arus hubung singkat, arus tidak seimbang, atau tegangan rendah dapat merusak peralatan-peralatan seperti transformator, PMT, konduktor, peralatan kontrol dan proteksi. Kerusakan ini dapat bersifat permanen dan membutuhkan waktu serta biaya besar untuk pemulihan.

2. Penurunan Stabilitas Sistem

Gangguan dapat menyebabkan sistem kehilangan kestabilan tegangan atau kestabilan sudut (*rotor angle stability*), yang bisa memicu *blackout* atau padam sistem secara luas, terutama jika gangguan tidak cepat dikendalikan.

3. Gangguan terhadap kontinuitas pelayanan

Konsumen akan mengalami pemadaman listrik, baik sebagian wilayah (*partial blackout*) atau seluruhnya (*blackout*).

4. Efek Termal

Arus gangguan menghasilkan panas tinggi dalam waktu singkat. Efek termal ini dapat melelehkan sambungan konduktor, merusak isolasi kabel dan dapat menurunkan performa jangka panjang dari peralatan

5. Penurunan Umur Peralatan

Setiap kali terjadi gangguan, peralatan akan mengalami stress listrik dan termal, yang mempercepat proses degradasi. Hal ini mengurangi usia pakai (*life time*) dari peralatan sistem tenaga listrik, seperti PMT, *isolator*, dan kabel.

Gangguan pada saluran transmisi harus segera diketahui dan diatasi untuk mencegah meluasnya gangguan ke bagian lain dari sistem tenaga listrik. Penyebaran gangguan yang tidak segera diputus dapat menyebabkan terjadinya *blackout*. Untuk meminimalisir gangguan pada saluran transmisi dipasang berbagai skema proteksi seperti rele *distance*, OCR, *Overload Sheeding*, *Over Voltage Transmission Sheeding*, dan peralatan proteksi lain untuk mengamankan peralatan.

2.4 *Disturbance Fault Recorder (DFR)*

Dalam sistem tenaga listrik, gangguan dapat terjadi secara mendadak dan sering kali berdampak serius terhadap keandalan pelayanan serta keamanan peralatan. Oleh karena itu, dibutuhkan peralatan bantu analisa gangguan yang mampu merekam dan memonitor kondisi sistem secara *real-time* dan historis. Peralatan ini berfungsi layaknya “*black box*” pada pesawat, yaitu sebagai *event recorder* atau *disturbance recorder* yang mencatat seluruh kejadian penting sebelum, saat, dan setelah gangguan terjadi. Fungsi Utama dari peralatan perekam gangguan ini antara lain:

- Merekam peristiwa sistem secara kronologis
- Memonitor parameter seperti arus, tegangan, frekuensi, dan status digital
- Mendeteksi anomali atau penyimpangan dari parameter normal
- Menyediakan data teknis untuk evaluasi penyebab dan dampak gangguan
- Membantu pengambilan keputusan untuk tindakan korektif maupun preventif

DFR merupakan peralatan perekam/*recorder* yang bekerja berdasarkan Input analog arus dan tegangan, inputan *digital/event*/kontak yang berasal dari peralatan primer (seperti buka,tutup dan tripnya PMT) atau inputan dari peralatan sekunder (seperti bekerjanya rele proteksi). Peralatan ini akan merekam dan menyimpan data kondisi sistem secara otomatis pada saat sebelum, gangguan/*fault* berlangsung dan sesudah gangguan, yang hasilnya dapat dilihat dalam bentuk cetakan (*print out*) atau melalui *software* pembuka rekaman gangguan. Informasi yang bisa diperoleh adalah besarnya *fault* (nilai arus dan tegangan), lama gangguan/kejadian, event/kontak dan sensor yang bekerja.



Gambar 2.1 *Disturbance Fault Recorder* merek Qualitrol

DFR memiliki prinsip yaitu akan bekerja secara terus menerus selama 24 jam dengan waktu yang sebenarnya/*real time* untuk memonitor kondisi sistem kelistrikan dan peralatan terkait lainnya pada saat terjadi gangguan, karena menggunakan sistem digital maka semua data dikonversikan ke bentuk digital dan disimpan di memori, hasil monitoring tersebut akan tersimpan secara permanen dalam bentuk hasil cetakan di kertas dan data memori. Tahapan pengelolaan dalam bekerjanya DFR dengan susunan sebagai berikut:

1. Masukan (*Input*)

Yang dimaksud adalah peralatan atau kondisi dimana mencerminkan satuan besaran listrik pada sebuah sistem (*line/bay* penghantar) yang direkam dan pada umumnya sudah merupakan konversi dari besaran sebenarnya. Berikut susunan Input yang ada di DFR terdiri dari:

- a) *Input analog* berupa tegangan dapat diperoleh dengan memparalelkan sinyal tegangan dari *Potential Transformer* (PT) atau *Capacitive Voltage Transformer* (CVT). Input ini direkam untuk tiga fasa terhadap netral. Umumnya, rangkaian tegangan dari PT dapat diparalelkan dengan peralatan lain. Agar hasil rekaman tegangan terbaca dengan baik dan akurat, kondisi rangkaian harus dijaga dalam keadaan optimal. Untuk mendapatkan perbandingan yang baik dengan arus fasa, diperlukan pengukuran lengkap pada ketiga fasa. Rekaman tegangan yang ideal mencakup seluruh fasa pada setiap Bus Bar. Proses analisis yang komprehensif membutuhkan masukan tegangan dari seluruh *feeder/line/bay*.

- b) *Input analog* berupa arus dapat diperoleh dengan menghubungkan secara seri melalui *Current Transformer* (CT), atau menggunakan peralatan tambahan yang mampu merekam arus dari rangkaian CT. Rangkaian ini merekam arus untuk tiga fasa dan satu saluran netral (residual). Pemilihan CT harus memenuhi kategori kualitas yang tinggi, agar output yang dihasilkan akurat dan representatif terhadap besaran arus sebenarnya. Selain itu, CT yang digunakan harus memiliki kelas akurasi yang baik, sehingga mampu merekam arus gangguan dalam skala besar maupun mengukur arus normal secara tepat. Setiap pengukuran dalam sistem transmisi dilakukan pada ketiga fasa, yaitu fasa R, S, dan T, serta pada arus residual. Pengukuran ini sangat penting untuk mengidentifikasi fasa yang mengalami gangguan, menganalisis kinerja pemutus tenaga (PMT) pada masing-masing fasa, serta mengevaluasi kondisi CT yang digunakan.
- c) *Input Digital* yang terdiri dari peralatan proteksi dan peralatan eksekusi (Rele, PMT, dan kontak-kontak). Dalam penerapan input digital dari rele atau perangkat sejenis, perlu diperhatikan adanya faktor *time delay* (penundaan waktu). Jika diperlukan, penggunaan rele untuk memastikan kestabilan sinyal dan ketepatan waktunya.

2. Keluaran/*Output*

Keluaran dari DFR merupakan hasil rekaman yang selanjutnya diunduh untuk memberikan gambaran input pada saat kondisi adanya gangguan. Selain itu, DFR juga dilengkapi dengan kontak output yang berfungsi untuk menunjukkan bahwa DFR sedang mengalami gangguan atau sedang merekam gangguan.

3. Trigger/Proses

Trigger pada peralatan DFR dapat dilakukan melalui input digital yang berasal dari masukan rele atau PMT yang bekerja. Jika salah satu peralatan tersebut bekerja, maka semua masukan akan direkam dan hasilnya dicetak pada kertas. Selain itu, proses *trigger* juga dapat berasal dari besaran analog yang telah ditentukan sebelumnya, misalnya ketika tegangan kurang dari 50 Volt atau arus lebih dari 6 Ampere. Dengan menerapkan dan mengombinasikan kedua jenis *trigger* ini, peralatan DFR akan bekerja dan melakukan rekaman saat ada masukan

dari rele proteksi dan PMT, atau ketika besaran analog berada di luar kondisi normal yang telah ditetapkan oleh pengguna.

4. Proses Analisa

Kondisi gelombang listrik ketika tidak ada anomali dan gangguan, input analog yang berupa tegangan dan arus akan membuat sebuah gambaran yang sempurna dari gelombang sinusoidal frekuensi normal 50 Hz sesuai aturan jaringan.



Gambar 2.2 Gelombang Sinusoidal Sempurna

Gambar 2.2 menunjukkan gelombang sinusoidal sempurna, ditandai dengan siklus gelombang yang teratur, memiliki puncak positif pada sudut 90° ($+A_{max}$) dan puncak negatif pada sudut -90° ($-A_{max}$). Jika dikombinasikan, panjang satu siklus penuh dari gelombang ini adalah 360° . Gelombang tersebut juga memiliki korelasi dengan hasil rekaman yang akan dianalisis lebih lanjut. Berikut adalah penjelasan dari elemen-elemen yang terdapat pada Gambar 2.2:

- Waktu yang diperlukan untuk dapat kembali pada nilai dan arah yang sama (1 *cycle*) dapat disebut dengan periode (T) dan dalam satuan detik/*cycle*. Sedangkan Frekuensi AC adalah banyaknya perubahan pada arus setiap detiknya. Berikut adalah rumus hubungan antara periode dan frekuensi:

$$f = \frac{1}{T} \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana f = Frekuensi (Hz)

T = Periode (detik)

- b) Nilai tertinggi yang ditunjukkan garis grafik adalah amplitudo
- c) Nilai transien/sesaat adalah nilai gelombang pada suatu titik waktu tertentu

Besaran tegangan dan arus ini dapat diukur dengan memperhatikan skala perekamannya. Sedangkan untuk input digital, diperlihatkan bahwa dalam keadaan yang normal. Setiap trigger karena besaran analog yang diluar normal, DFR akan menggambarkan pada bagian sensor digital, serta bentuk sinusoidal arus / tegangan akan berubah menjadi lebih besar atau lebih kecil.

2.4.1 Kegunaan DFR

DFR memiliki manfaat yang secara menyeluruh dapat membantu seluruh kinerja jaringan transmisi ketika terjadi gangguan, antara lain yaitu:

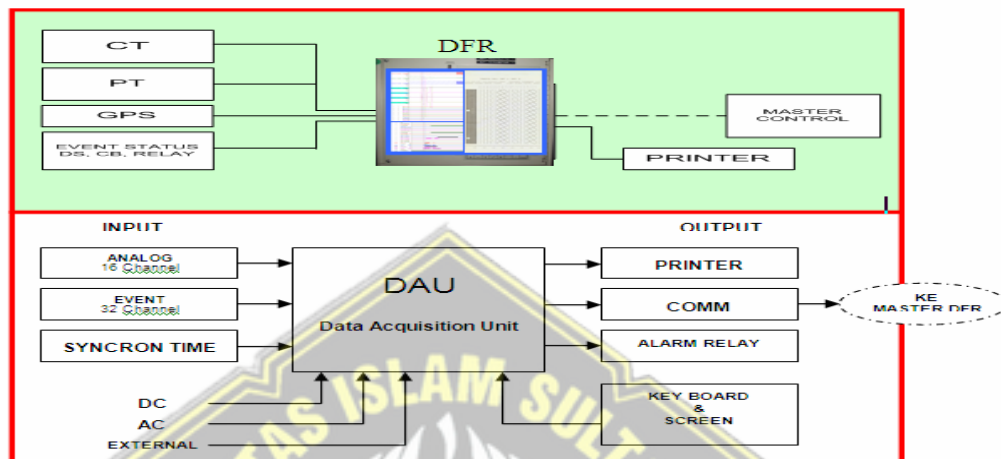
1. Agar dapat mengetahui besaran Arus (I) dan Tegangan (V) pada satuan listrik serta dapat menentukan penyebab dari gangguan tersebut serta bagian fasa yang terganggu, tentunya hal tersebut dapat dilihat dari hasil cetakan DFR.
2. Dapat menentukan apakah sistem proteksi sudah bekerja optimal sesuai dengan yang diharapkan. Tentu pada sistem proteksi sesuai karakteristik pemilihannya harus bekerja jika adanya suatu nilai yang melewati dari nilai setting. Jika dari hasil rekaman peralatan DFR memperlihatkan adanya besaran melebihi nilai setting rele tersebut, proteksi harus memiliki sifat sensitifitas yang baik. Kegagalan pada proteksi bisa dilihat apabila rele proteksi tidak bekerja dengan baik atau *Mal-function* padahal data rekaman arus/tegangan sudah melebihi nilai setting rele yang bersangkutan. Sebagai bahan evaluasi maka dapat dilakukannya setting ulang dan dapat dipastikan besarnya arus yang ada dengan membaca data hasil rekaman tersebut.
3. Dapat memastikan PMT bekerja dengan baik. Proses beroperasinya PMT dimulai ketika rele proteksi membaca adanya gangguan dengan perbandingan antara nilai gangguan dan nilai setting, kemudian rele proteksi akan memberikan perintah *trip* kepada PMT. Selanjutnya dapat dilihat PMT tersebut apakah dapat beroperasi sesuai waktu yang diinginkan atau tidak, apakah recloser sudah dapat bekerja dengan baik, apakah adanya *time delay*

dari keserempakan beroperasi setiap fasanya, serta hal lainnya kita dapat menghitung dan menentukan kapan PMT tersebut perlu dilakukan *maintenance* sesuai data evaluasi rekaman dari DFR.

4. Melihat harmonisa dari sistem tenaga listrik. Hal ini sangat sering timbul, terutama pada industri besar yang bebannya identik. Harmonisa yang besar dapat menginduksi sistem tenaga listrik jika tidak dengan cepat diatasi dengan peralatan memadai dan pada akhirnya dapat menyebabkan sistem baik proteksi maupun peralatan lainnya tidak bekerja dengan baik. Cara melihat adanya harmonik dalam sistem dapat dilakukan dengan melihat bentuk gelombang sinusoidal tegangan dan arus (50 Hz).
5. Dapat melihat keadaan CT apakah dalam kondisi normal atau sedang jenuh. Jika CT terlihat tidak normal/jenuh, bentuk gelombang dibagian puncak sinusoidal akan terpotong, karena CT tidak dapat menjadikan keluaran yang cukup pada beban tertinggi yang terjadi pada puncak dari sinusoidal tersebut. Hal ini hanya dapat dilihat dari rekaman DFR.
6. Memperbaiki model sistem tenaga listrik. Data dari rekaman DFR dapat menentukan banyaknya masukan untuk memeriksa kesamaan dan permodelan dengan saat rekaman gangguan sistem tenaga listrik, yang pada hasil akhirnya dapat digunakan untuk proses evaluasi dan penyempurnaan model, serta mengkalkulasikan ulang keadaan lapangan (yang tentunya dapat mengalami perubahan karena adanya pengembangan sistem).
7. Menentukan lokasi gangguan dan durasi gangguan (*Fault Clearing Time*) dengan menggunakan data rekaman yang dihasilkan dari data rekaman DFR.
8. Dapat dijadikan dokumentasi, rekaman gangguan dari DFR tersebut dijadikan sebagai proses simulasi pada sistem proteksi untuk pengecekan ulang dan untuk mengevaluasi dan menganalisa aktifitas secara real time. Dokumentasi ini juga dapat mencakup catatan dari peralatan lain seperti SCADA, tampilan peralatan lainnya, dan kesimpulan mengenai penyebab gangguan tersebut.

2.4.2 Blok Diagram DFR

Rincian umum dari blok diagram data pada DFR tersusun dari beberapa input serta *output* seperti pada Gambar 2.3.



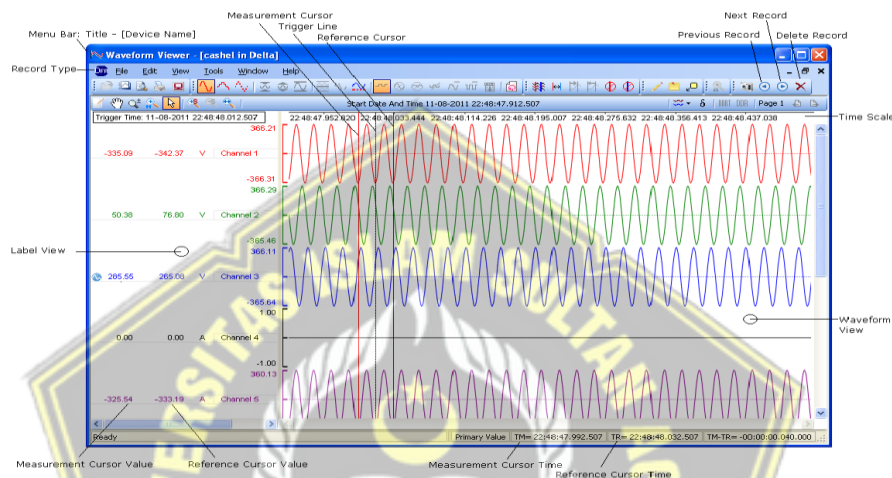
Gambar 2.3 Blok diagram DFR

- Media *Input* yang terdiri dari CT, PT, CVT, GPS sebagai sumber data *analog* dan data *digital* sebagai data masukan ke *Processor* sebagai *Event Status*.
- Data Aquisition Unit* (DAU) sebagai media *processor* untuk pengelola data input menjadi tampilan grafik maupun urutan kejadian ke media output.
- Media *Output* adalah berupa media penerima data dari media *processor* (*printer*, *alarm* rele dan media komunikasi) selanjutnya media komunikasi akan mengirimkan data ke *master* DFR.
- Sumber DC dan AC sebagai catu daya pada DAU
- Keyboard* dan *Screen* sebagai media *interface* antara DAU dengan *user*.

2.4.3 Pembacaan Rekaman DFR

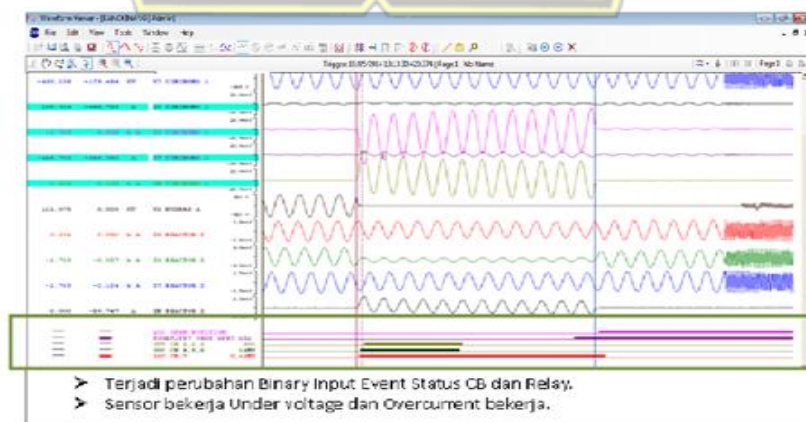
DFR merupakan salah satu perangkat bantu penting dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk merekam dan menganalisis kondisi gangguan yang terjadi pada jaringan. Tujuan utamanya adalah untuk menilai kinerja dan keandalan sistem proteksi, termasuk elemen-elemen seperti CT, PT, PMT, relai proteksi, serta sistem wiring yang terkait.

Saat terjadi gangguan, DFR secara otomatis merekam bentuk gelombang arus dan tegangan secara *real-time*, sehingga dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis gangguan, menentukan waktu kejadian, dan mengevaluasi respons sistem proteksi. Data rekaman gangguan diperoleh dengan mengunduh *file* hasil perekaman dari perangkat DFR. Proses pembacaan dan analisis dilakukan menggunakan *Waveform Viewer* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Tampilan *Waveform Viewer*

Tampilan grafik *waveform* hasil pembacaan ditunjukkan pada Gambar 2.5, yang menggambarkan respon sistem proteksi terhadap gangguan secara detail dan kronologis. Melalui analisis ini, dapat dilakukan evaluasi terhadap jenis gangguan, fase yang terganggu, serta waktu kerja rele dan pemutus tenaga (PMT).



Gambar 2.5 Petunjuk Pembacaan Pada Hasil Rekaman

Sebelum melakukan analisis tegangan dan arus pada hasil rekaman DFR maka untuk memudahkan proses analisis rekaman DFR dilakukan konversi tegangan dari tegangan 1 fasa menjadi tegangan 3 fasa menggunakan persamaan 2.1.

$$V_{3\phi} = V_{1\phi} \times \sqrt{3} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

$V_{3\phi}$ = Tegangan antar fasa (kV)

$V_{1\phi}$ = Tegangan fasa-netral (kV)

Kemudian melakukan konversi besaran tegangan kedalam satuan per unit (p.u) menggunakan persamaan 2.2.

$$V(p.u) = \frac{V_{\text{Aktual}}}{V_{\text{Basis}}} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

$V_{(p.u)}$ = Tegangan dalam satuan per unit

V_{aktual} = Tegangan hasil pengukuran/rekaman (kV)

V_{basis} = Tegangan basis yang ditetapkan untuk sistem (kV)

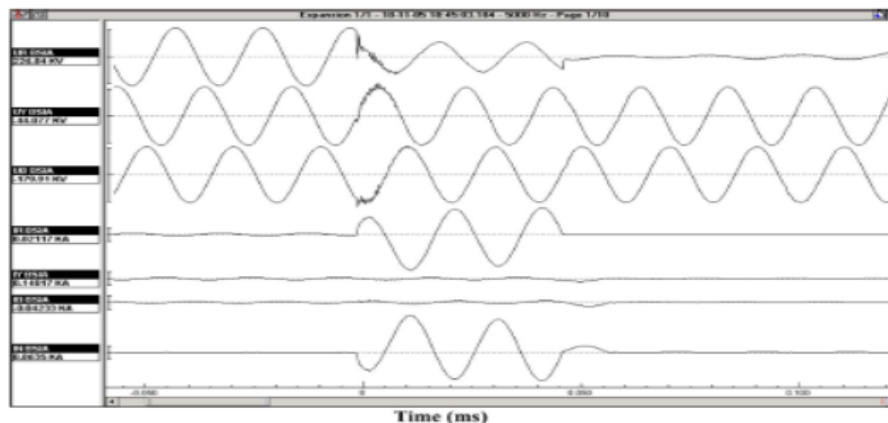
2.4.4 Karakteristik Gangguan berdasarkan rekaman DFR

Dari rekaman arus dan tegangan saat terjadi gangguan memiliki karakteristik yang cenderung sama pada beberapa kejadian, berikut beberapa karakteristik gangguan yang umum terjadi pada saluran udara tegangan tinggi.

a. Gangguan Petir

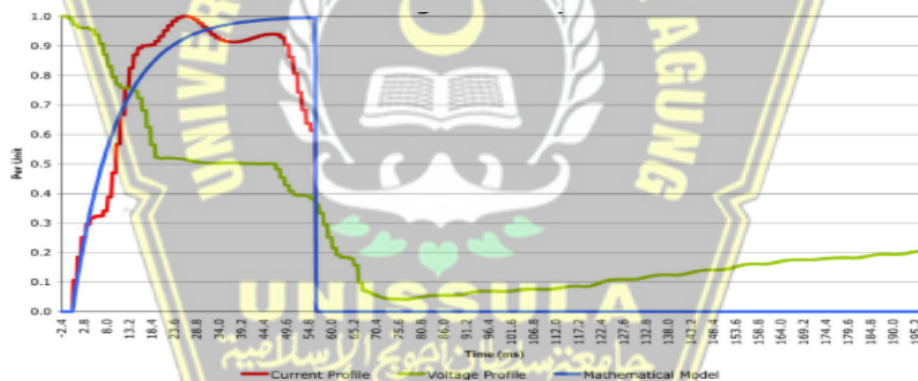
Gangguan petir umumnya terjadi pada saluran udara dimana jika sistem *grounding* pada tower / kawat ground tidak baik akan menimbulkan *back flashover* saat terjadi sambaran petir sehingga terjadi gangguan pada saluran transmisi. Adapun karakteristik gangguan petir umumnya:

1. Terjadi *ripple* 3 fasa pada gelombang tegangan ditunjukkan pada Gambar 2.6.
2. Terjadi lonjakan arus netral dengan durasi yang cepat (<120 ms)
3. Terjadi *drop* tegangan hingga 0.5 pu



Gambar 2.6 Rekaman DFR Gangguan Disebabkan Petir

Karakteristik arus dan tegangan saat terjadi gangguan petir umumnya dapat dilihat pada Gambar 2.7 yang menunjukkan garis merah adalah profil besaran arus mengalami peningkatan, dan garis hijau menunjukkan besaran tegangan yang mengalami penurunan hingga dibawah 0.6 pu.

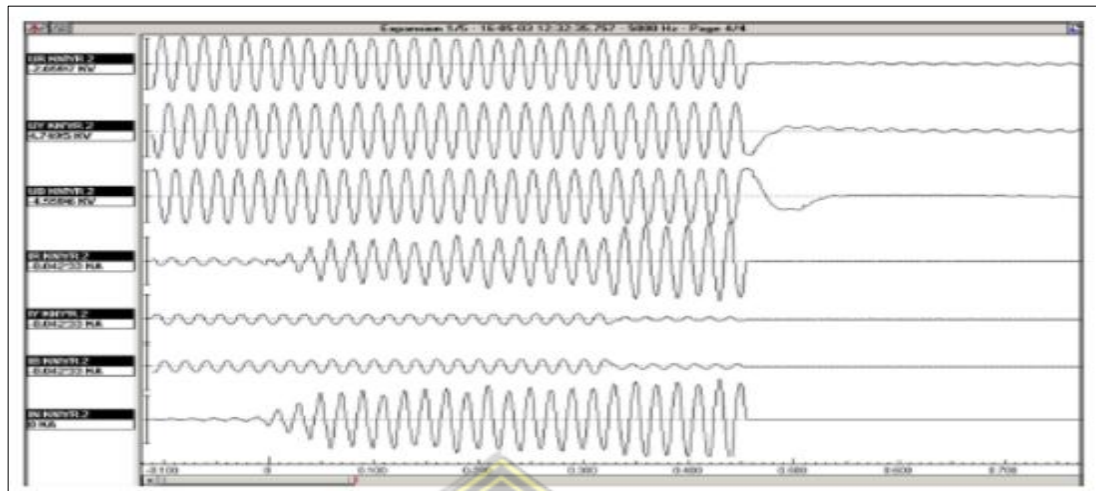


Gambar 2.7 Korelasi Tegangan dan Arus Saat Gangguan Petir

b. Gangguan Pohon

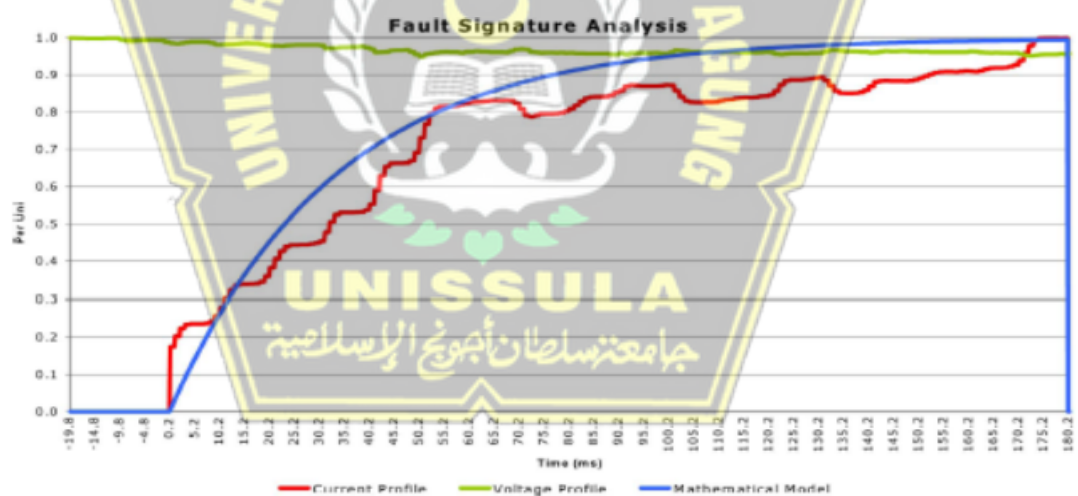
Gangguan pohon pada saluran udara dapat terjadi apabila pohon masuk dalam jarak elektrik terhadap konduktor sehingga timbul *flashover* dan juga apabila pohon bersentuhan langsung dengan konduktor. Adapun karakteristik gangguan pohon antara lain:

1. Terdapat arus netral (IN) mengalami kenaikan
2. Durasi gangguan umumnya lebih lama (>120 ms)



Gambar 2.8 Rekaman DFR Gangguan Disebabkan Pohon

Karakteristik arus dan tegangan saat terjadi gangguan pohon umumnya memiliki *drop* tegangan yang tidak begitu signifikan dan arus gangguan yang cenderung naik landai dengan kurva yang dapat dilihat pada gambar 2.9.



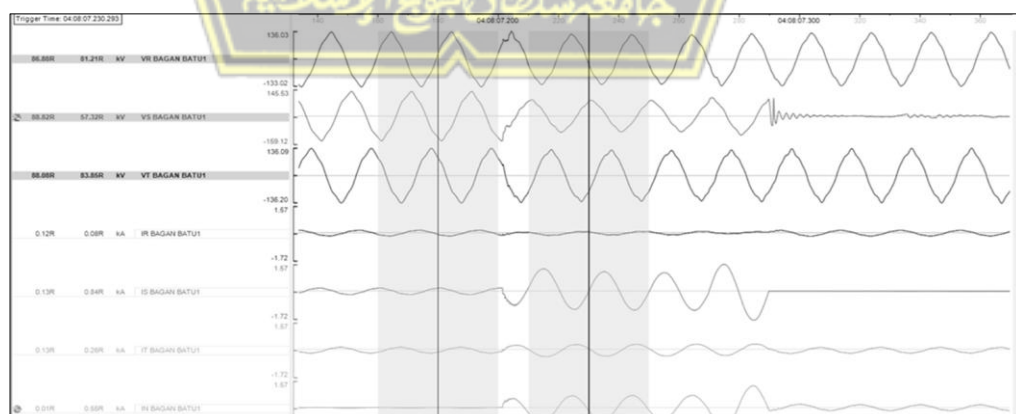
Gambar 2.9 Korelasi Tegangan dan Arus Saat Gangguan Pohon

c. Gangguan Binatang

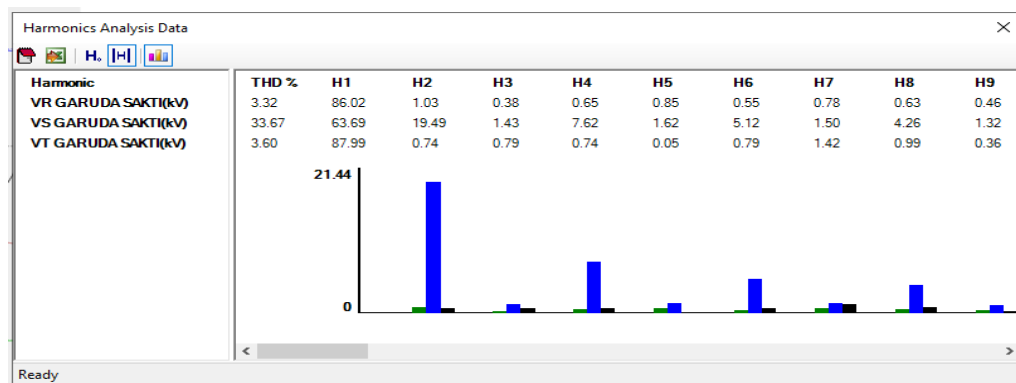
Gangguan transmisi yang disebabkan oleh hewan mempunyai karakteristik sebagai berikut :

1. Terdapat Arus Netral (IN) terhadap tanah (1Fasa-Tanah)
2. Harmonisa urutan genap (H2, H4, H6) yang cukup tinggi (diatas 3%), dan *total harmonic distortion* (THD) > 20% ditunjukkan pada Gambar 2.11

Menurut penelitian G.F. Reed et al. dalam artikel berjudul “*Harmonic Behavior during Arcing Faults on Power Distribution Feeders*”, gangguan *arcing fault* atau busur listrik yang dapat terjadi selama gangguan satu fasa ke tanah memiliki karakteristik unik dalam domain frekuensi. Salah satu penyebab umum dari gangguan ini adalah binatang yang menyentuh salah satu konduktor dan titik berpotensi tanah, baik secara langsung maupun melalui media seperti udara atau jaringan tubuh yang tidak sepenuhnya konduktif. Dalam kondisi tersebut, sering terbentuk busur listrik (*arc*) akibat kontak yang tidak kontinu dan resistansi tinggi. Proses ini menimbulkan ketidaksimetrian dan distorsi pada bentuk gelombang arus maupun tegangan. Distorsi tersebut menghasilkan komponen harmonisa genap, terutama harmonisa orde ke-2 (H2), orde ke-4 (H4), dan orde ke-6 (H6). Berbeda dengan kondisi sistem tiga fasa yang ideal dan simetris—di mana harmonisa genap biasanya tidak muncul—pada gangguan satu fasa ke tanah yang disertai dengan karakteristik *arcing*, bentuk gelombang menjadi asimetris dan tidak linier secara waktu (*temporally asymmetric*). Hal ini mengakibatkan munculnya harmonisa genap yang khas dan dapat terdeteksi melalui analisis spektral, seperti yang dilakukan menggunakan perangkat *Digital Fault Recorder* (DFR). Fenomena ini juga mengindikasikan bahwa gangguan oleh binatang sering kali memiliki karakteristik arcing yang fluktuatif, sehingga memperkuat kemunculan harmonisa genap dalam hasil rekaman gangguan.



Gambar 2.10 Rekaman DFR Gangguan Disebabkan Hewan

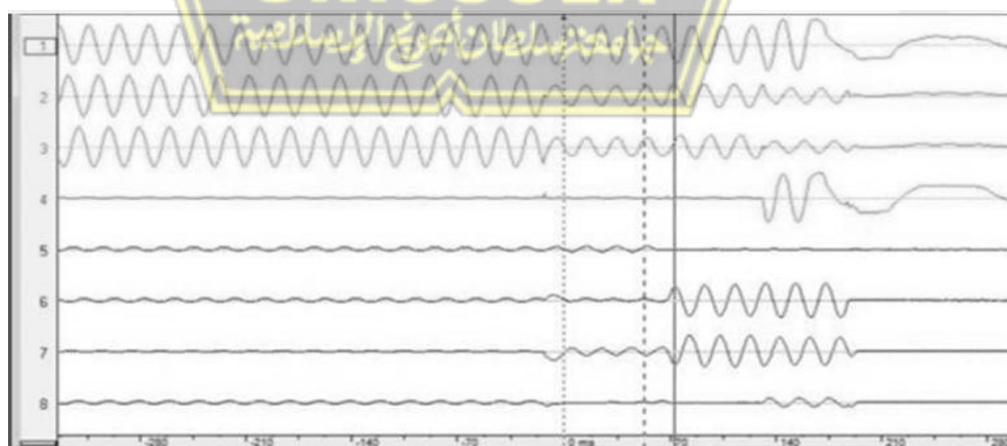


Gambar 2.11 Tampilan harmonisa tipikal gangguan hewan

d. Konduktor Putus

Gangguan yang disebabkan karena konduktor putus jenis fasa yang terganggu cenderung fasa ke tanah (untuk konduktor putus yang posisinya di bawah) atau fasa ke fasa (untuk konduktor putus yang posisinya di tengah atau atas). Gangguan ini memiliki kemungkinan berpindah fasa dari fasa ke fasa menjadi fasa ke tanah. Detil karakteristik gangguan yang disebabkan karena konduktor putus antara lain :

1. Terdapat arus netral (IN)
2. Terdapat Unbalance Arus dan menurun mendekati nol (putus fasa bawah)
3. Terdapat perpindahan I_{fault} , dari Fasa-Fasa menjadi Fasa-Netral yang ditunjukkan pada Gambar 2.12.

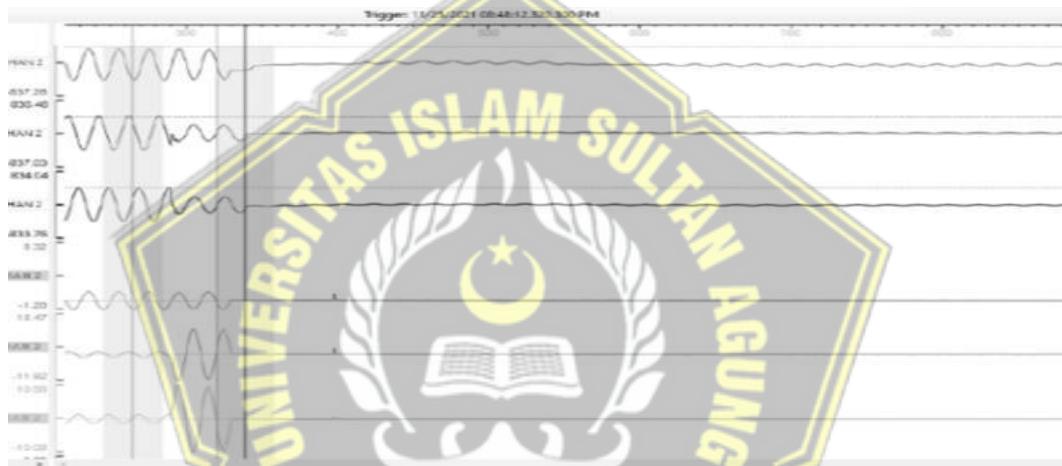


Gambar 2.12 Rekaman DFR Gangguan Disebabkan Konduktor Putus

e. Obyek Terbang

Gangguan yang disebabkan karena obyek terbang bisa disebabkan karena layang-layang, ranting pohon yang jatuh, balon udara mengenai transmisi, ini memiliki karakteristik antara lain:

1. Pola *sinusoidal* tegangan tidak mengalami cacat pada ketiga fasa
2. Cuaca pada sekitar gangguan sedang tidak gerimis atau hujan dan tidak terekam adanya aktifitas sambaran petir
3. Jenis gangguan yang disebabkan karena obyek terbang adalah gangguan antarfasa dan tidak ada arus netral seperti ditunjukkan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Rekaman DFR Gangguan Disebabkan Obyek Terbang

2.5 *Lightning Detection System* (LDS)

Sistem deteksi petir yang sering disebut dengan *Lightning Detection System* (LDS) merupakan sistem deteksi petir penggabungan dari metode deteksi petir *Time of Arrival* (ToA) dengan *Magnetic Directional Finding* (MDF). Didalam sistem LDS ini, untuk menentukan titik lokasi sambaran menggunakan gabungan dua metode sebagaimana disebutkan sebelumnya yaitu *Magnetic Directional Finding* (MDF) dan *Time of Arrival* (ToA).



Gambar 2.14 Sensor LDS LS7002

Menurut Betz et al., 2009 dan Lu et al., 2020 metode MDF membutuhkan dua buah antenna *cross-loop* pada satu titik pembacaan sehingga dapat diketahui simpangan sudut antara utara absolut dengan titik terjadinya sambaran. Adapun syarat untuk mengetahui lokasi terjadinya sambaran petir membutuhkan minimal dua titik pembacaan. Menurut Wang et al., 2020 metode ToA menggabungkan data waktu tiba gelombang elektromagnetik dari minimal 3 titik pembacaan, untuk dapat mengetahui perkiraan lokasi sambaran. Penggabungan dua metode ini membantu untuk merekam kejadian sambaran petir secara *realtime* serta mampu menyimpan rekam kejadian historis sambaran petir untuk kebutuhan analisa historis yang saat ini sudah diimplementasikan oleh PLN.

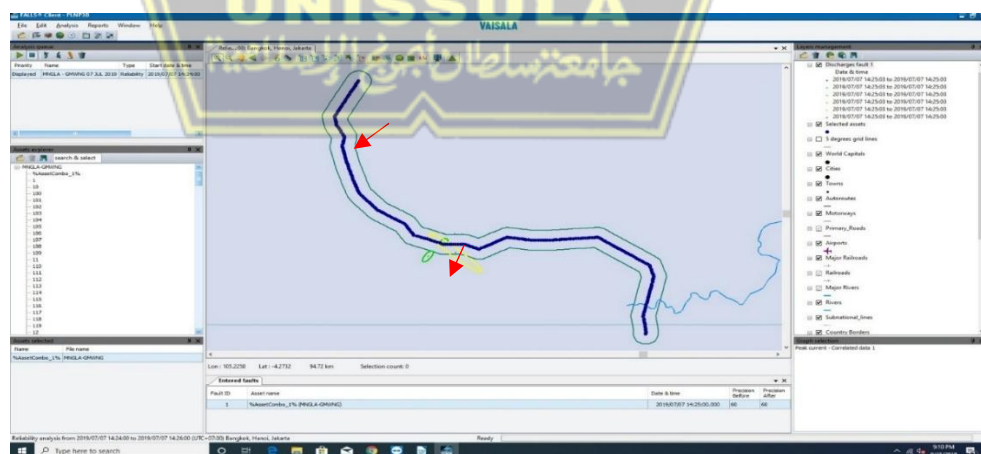
2.4.5 Kegunaan Analisis Data Sambaran Petir

Analisis data aktivitas sambaran petir ada dua yaitu analisis *historical* artinya digunakan untuk pembuatan peta kerapatan petir sebagai sarana untuk melakukan evaluasi sistem eksisting, pertimbangan dalam melakukan perbaikan sistem eksisting, membantu proses identifikasi gangguan sistem dan analisis *realtime* digunakan sebagai data masukan untuk proses manuver jaringan.

2.4.6 Aplikasi Untuk menampilkan data sambaran petir

Aplikasi yang digunakan untuk melihat aktivitas sambaran petir dari *Lightning Detection System (LDS)* ada 2 yaitu *Thunderstorm manager* dan *FALLS*

1. Thunderstorm manager adalah *web interface* berbasis intranet yang digunakan untuk menampilkan data sambaran petir *realtime* serta data kejadian petir yang direkam oleh server (maksimum 24 jam sebelumnya). Telah dilengkapi dengan peta jaringan 500 kV, 275 kV 150 kV dan 70 kV, sehingga data real time sambaran petir dapat digunakan sebagai masukan dalam manuver jaringan.
2. FALLS adalah yang digunakan mengolah data historikal sambaran petir yang disimpan di *database* dengan pilihan analisis berupa *Regional Analysis*, *Exposure Analysis* dan *Reliability Analysis*
 - *Regional Analysis* digunakan untuk mendapatkan peta kerapatan petir di suatu wilayah
 - *Exposure Analysis* digunakan untuk mengetahui Tingkat kerawanan ruas untuk suatu penghantar tertentu
 - *Reliability Analysis* digunakan dalam evaluasi keterkaitan petir dalam suatu event/gangguan yang dialami pada jaringan

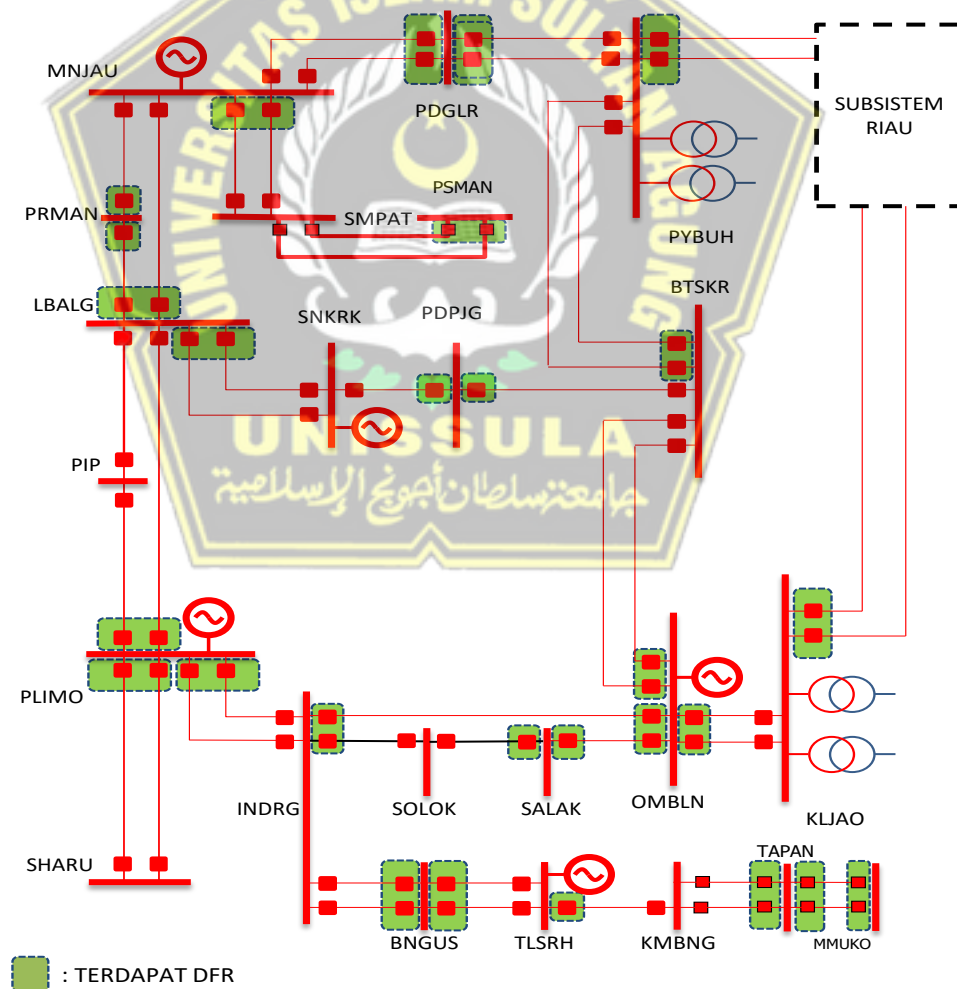


Gambar 2.15 Tampilan aplikasi FALLS

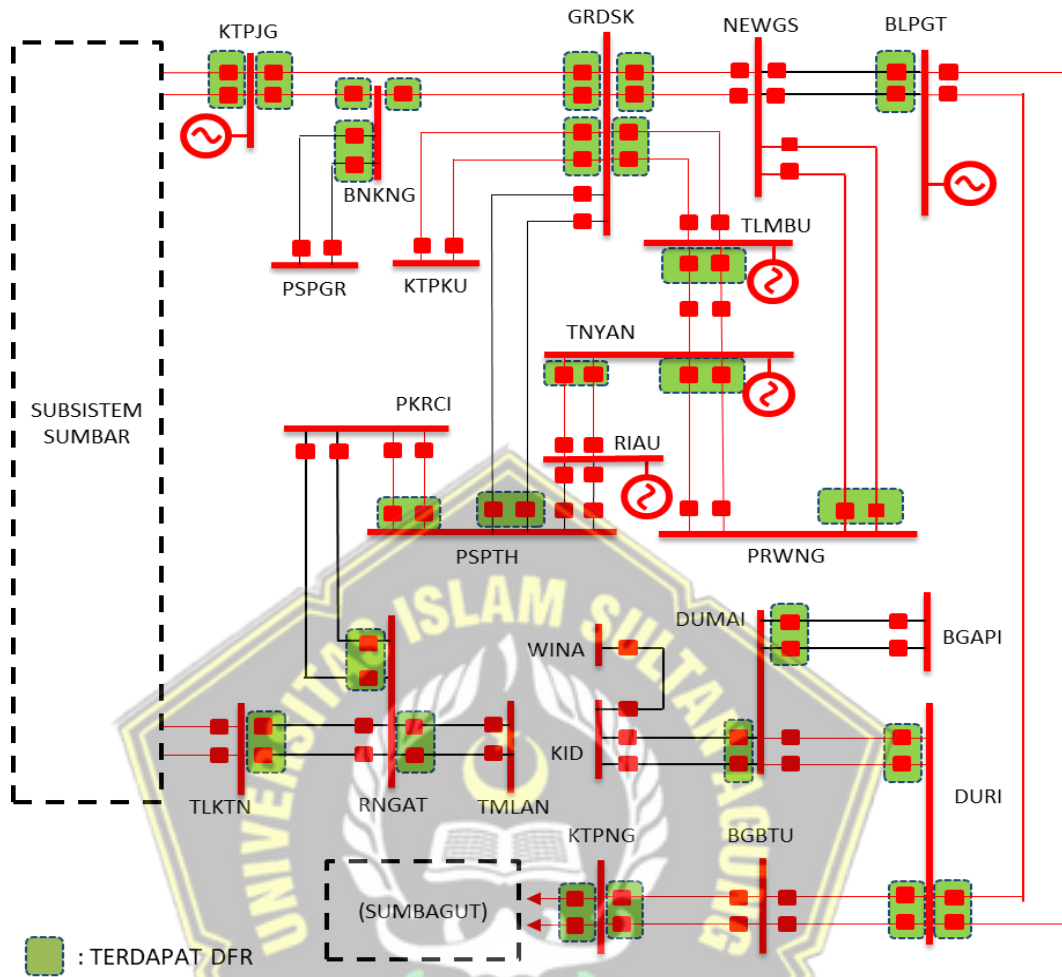
BAB III METODOLOGI

3.1 Model Penelitian

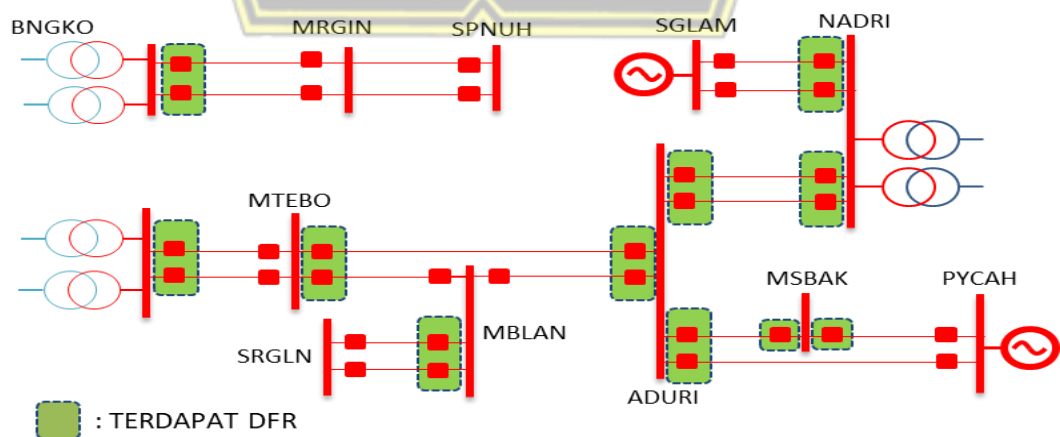
Model penelitian ini adalah dengan mengumpulkan data gangguan SUTT 150 KV di UP2B Sumatera Bagian Tengah sejak tahun 2023 yang dikelompokkan berdasarkan penyebabnya. Data rekaman DFR tiap kategori dianalisis pola gelombang dan karakteristiknya dengan didukung alat deteksi aktifitas petir (LDS), lalu divalidasi dengan eviden lapangan untuk memastikan ketepatan analisis. Kemudian hasilnya disajikan dalam bentuk diagram alir.



Gambar 3. 1 Single Line Diagram Subsystem 150 KV Sumbar



Gambar 3. 2 Single Line Diagram Subsistem 150 KV Riau



Gambar 3. 3 Single Line Diagram Subsistem 150 KV Jambi

3.2 Lokasi dan waktu penelitian

Penulis melakukan penelitian mulai bulan Agustus 2024 sampai dengan April 2025, penelitian ini dilakukan pada sistem kelistrikan Sumatera pada SUTT 150 kV di wilayah kerja Subsistem PT PLN UP2B Sumatera Bagian Tengah yang mengatur kelistrikan di tiga provinsi antara lain provinsi Jambi, Sumatera Barat dan Riau.

3.3 Teknik pengumpulan data

Pengumpulan data pada penelitian ini dihasilkan dari antara lain :

1. Pengumpulan rekaman gangguan dan kesesuaian dengan temuan dilapangan dalam kurun waktu minimal 1 tahun terakhir
2. Data yang dibutuhkan dari rekaman DFR meliputi: Bentuk gelombang tegangan dan arus, frekuensi, dan harmonisa
3. Indikasi-indikasi gangguan yang muncul pada rele utama yang diinformasikan oleh operator gardu induk, data ini diperoleh dari logsheet harian yang diisi oleh dispatcher
4. Berbagai buku-buku, jurnal dan sumber referensi lainnya yang terpercaya

3.4 Alat dan bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah antara lain :

- a. Modul Petunjuk Penggunaan peralatan IDM+ *Multifunction Power System Monitor* DFR dan LDS
- b. *Hardware* berupa seperangkat penuh alat perekam yaitu DFR dan LDS tersebar di seluruh GI/GITET di wilayah kerja UIP3B Sumatera
- c. *Software Qualitrol IQ+* (IQ+ Client v.15)
- d. *Software Thunder Strom* LDS
- e. *Single Line Diagram* lokasi DFR Sumatera
- f. Unit Laptop dengan RAM minimal 8 GB
- g. *Microsoft Office* 2021
- h. Alat penyimpanan data berupa *Flashdisk* minimal 16 GB

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah antara lain :

- a. Data rekaman DFR yang telah terjadi dalam kurun waktu 1 tahun terakhir.
- b. Data hasil verifikasi gangguan transmisi, bersama unit pelaksana transmisi dan pelaksana pengatur beban, untuk mencocokkan antara teori analisis rekaman gangguan dengan hasil temuan dilapangan.
- c. Logsheets harian *dispatcher*, untuk memperoleh data seperti kondisi cuaca disekitar gardu induk terkait, beban penghantar sebelum terjadi gangguan serta indikasi gangguan dari rele yang berada di gardu induk yang diinformasikan oleh operator gardu induk
- d. Data rekaman aktifitas petir pada titik tower dari aplikasi LDS yang diambil direntang waktu gangguan transmisi terjadi, data rekaman aktifitas petir ini menjadi data pendukung untuk menguatkan bahwa penyebab gangguan transmisi disebabkan karena adanya sambaran petir pada peralatan transmisi didukung dengan analisis rekaman DFR yang menunjukkan ke akibat petir

3.5 Cara Pengumpulan Data

3.5.1 Langkah download Rekaman DFR

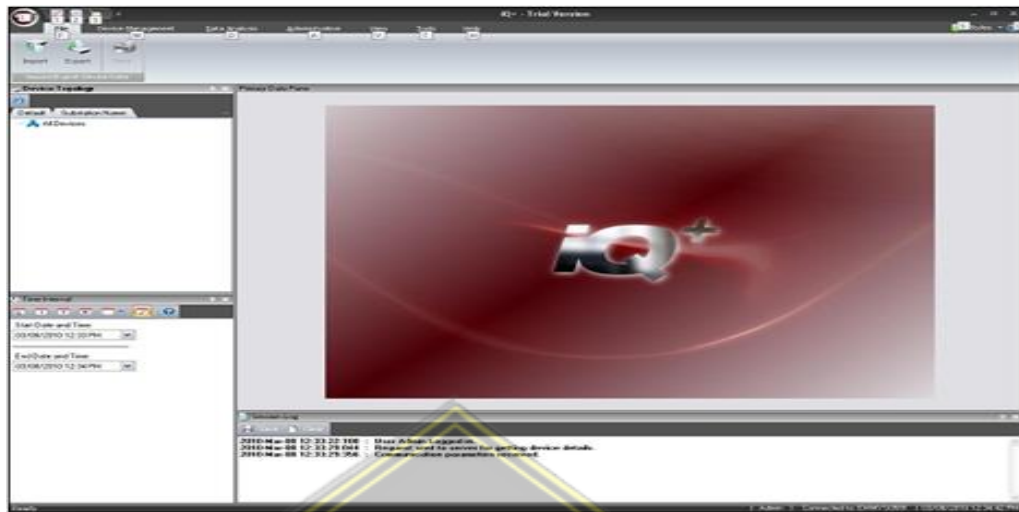
Langkah-langkah prosedur mendownload hasil rekaman gangguan pada DFR adalah sebagai berikut :

1. Buka IQ+ di menu Qualitrol lalu pilih IQ+ Client. Setelah itu akan muncul *User name* dan *Password* lalu klik login



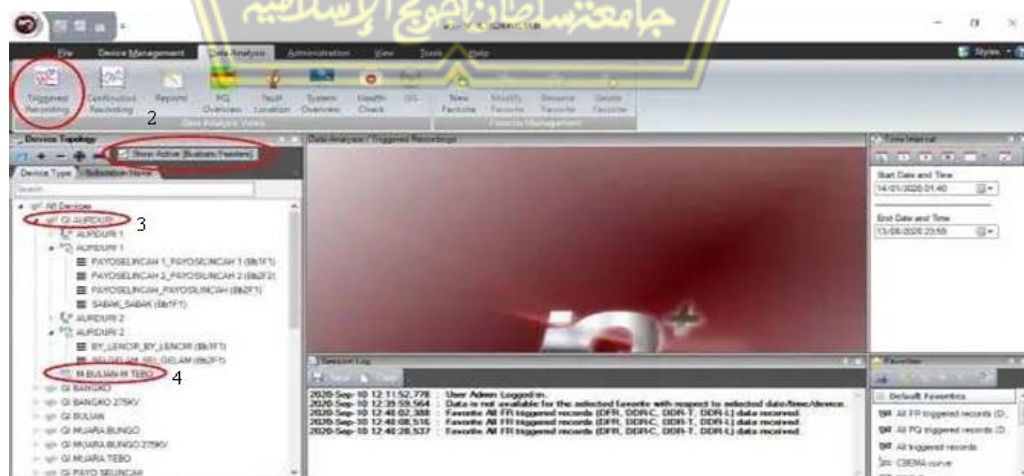
Gambar 3.4 Tampilan *login* DFR IQ+

2. Kemudian akan tampil menu awal seperti ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.5 Tampilan menu awal DFR IQ+

3. Tahapan dalam mendownload rekaman DFR
- Pada menu bar pilih menu “*Triggered Recording*”
 - Centang kotak pada menu “*Show Active [Busbar/Feeders]*”
 - Pilih Gardu induk yang akan diambil rekamannya misal “*Devices GI Bangko*”. Pada menu ini akan menampilkan banyak pilihan *devices* sesuai dengan *database* yang telah di import oleh PT. PLN secara khusus.
 - Pilih Segmen “*BNGKO-SPNUH*”. Merupakan segmen yang akan diambil rekaman gangguannya yaitu segmen penghantar Bangko arah Sungai Penuh



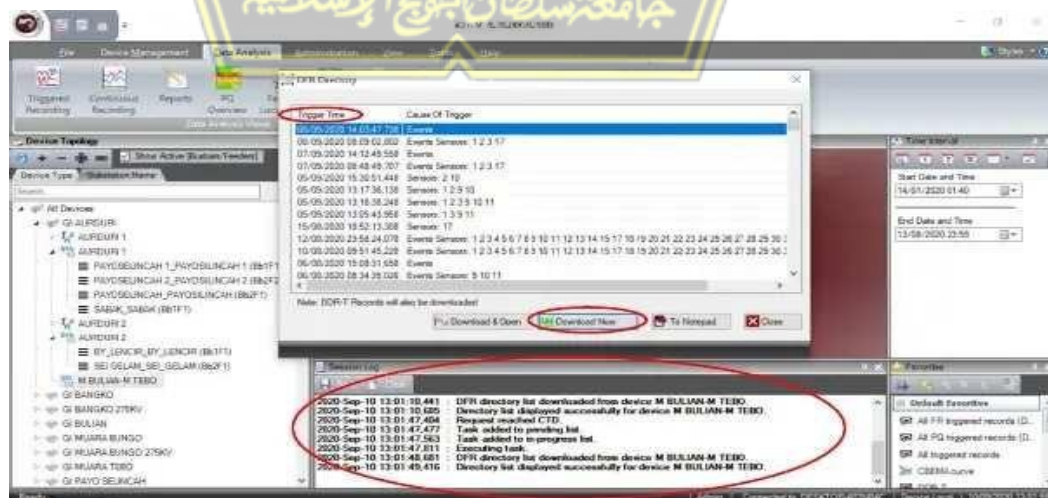
Gambar 3.6 Tampilan pilihan segmen penghantar

- Klik kanan pada segmen “M.BULIAN-M.TEBO” dan pilih secara berurutan “Display Devices Directory” – “DFR Directory” – “M.BULIAN-M.TEBO”



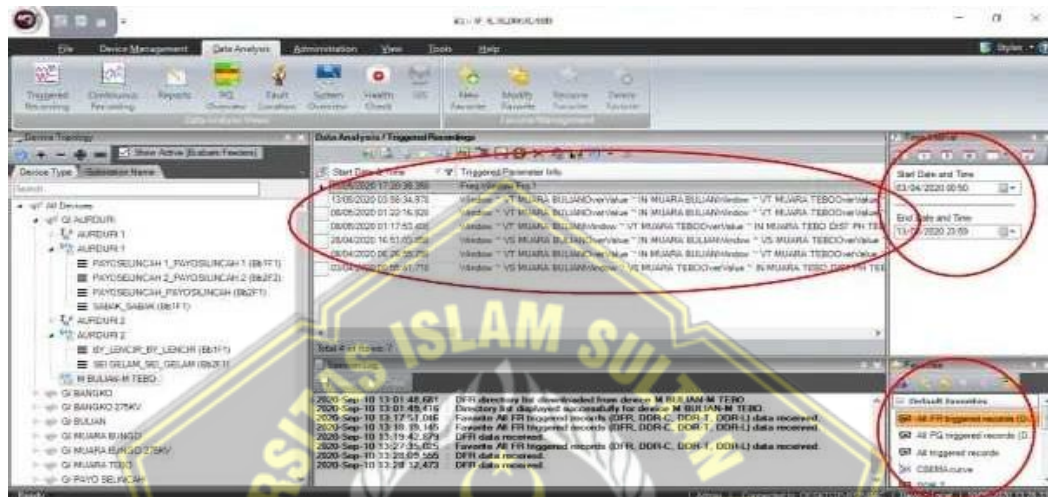
Gambar 3.7 Tampilan file directory

- Setelah itu pada menu “Session Log” merespon perintah yang telah diberikan dan akan menampilkan indikasi berupa keterangan “Directory list displayed succesfully for devices M.BULIAN-M.TEBO”
- Akan tampil menu “DFR Directory”, tentukan “Trigger Time” atau waktunya pada saat terjadi gangguan dan klik download

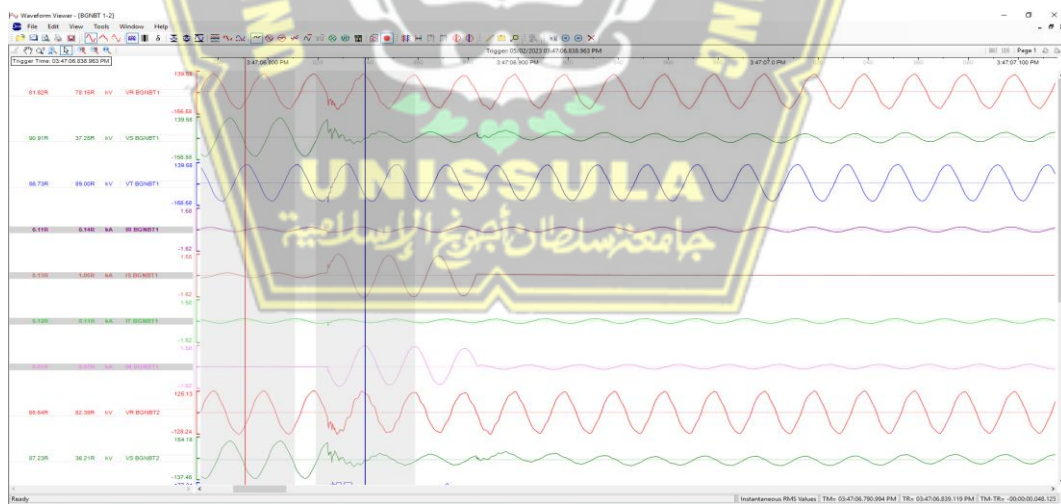


Gambar 3.8 Tampilan menu DFR Directory

- Untuk melihat hasil data yang telah didownload tentukan “*Time Interval*”
- Pada menu “*Default Favorites*” pilih keterangan “*All FR triggered record*”
- Pilih *file* yang telah didownload sesuai dengan waktu terjadinya gangguan seperti ditunjukkan pada gambar 3.7.



Gambar 3.9 Tampilan Menu *Data Analysis*

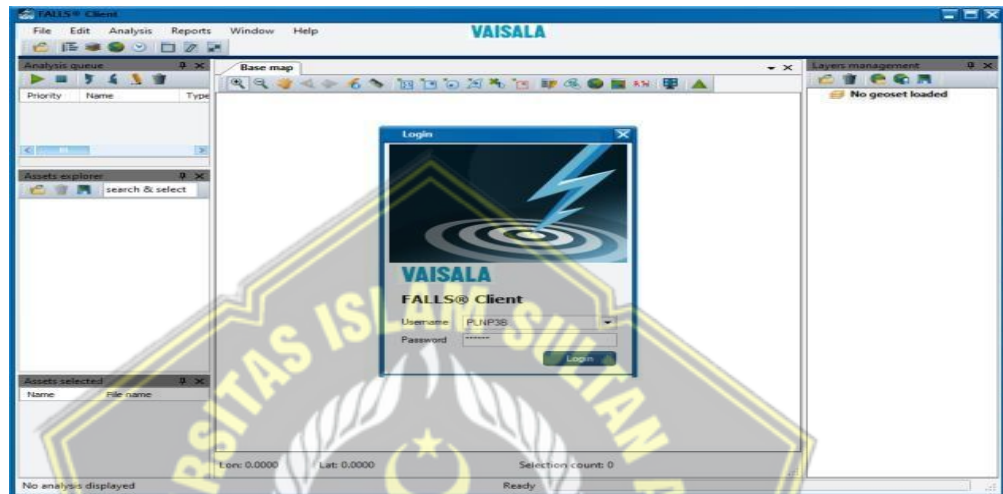


Gambar 3.10 Tampilan rekaman DFR yang berhasil didownload

3.5.2 Langkah download Rekaman LDS

Langkah-langkah prosedur mendownload rekaman aktivitas sambaran petir pada aplikasi LDS adalah sebagai berikut :

1. Buka aplikasi FALLS, lalu masukkan *username* dan *password* kemudian *login*. Maka akan muncul tampilan utama dari aplikasi FALLS



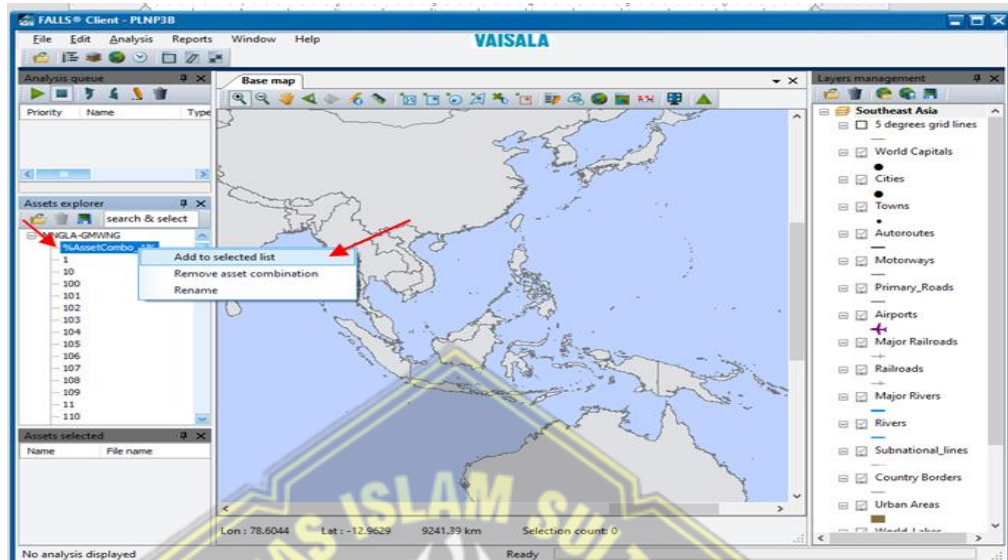
Gambar 3.11 Tampilan utama aplikasi FALLS

2. Memilih *asset* transmisi yang akan diambil rekamannya, dengan cara pada kolom *asset explorer* klik *icon* berbentuk *folder* atau *add an assets file to the explorer*, lalu buka *Buka file .shp* (contoh : MNGLA - GMWNG.shp) pada *folder* tempat penyimpanan *database asset* transmisi. Lalu klik OK



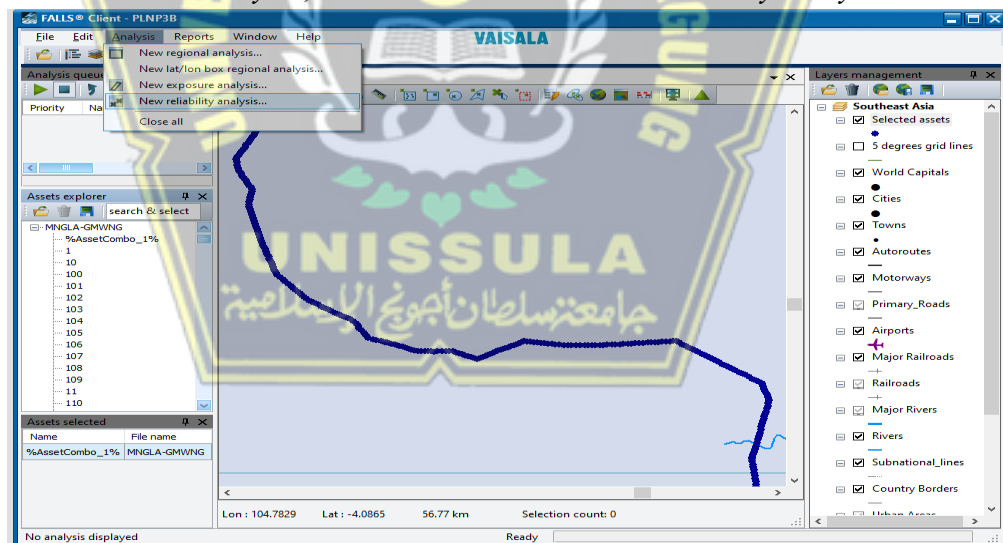
Gambar 3.12 Memasukkan *asset* transmisi

3. Setelah *asset* ditambahkan, klik *combine assets* maka akan muncul file % (contoh : %Asset Combo%), lalu klik kanan lalu klik *Add to select list*



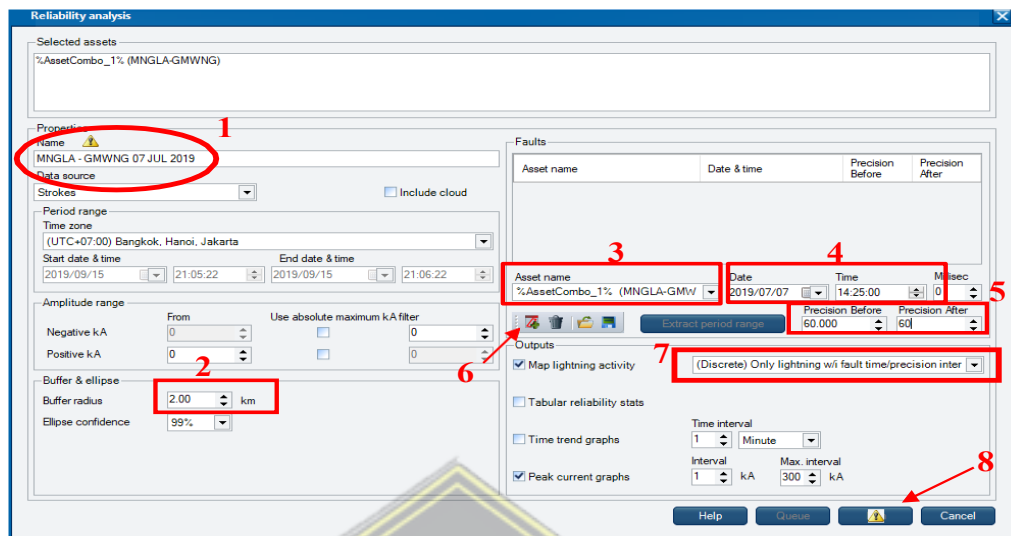
Gambar 3.13 Memasukkan *asset* transmisi

4. Klik Menu *Analysis*, kemudian klik menu *new reliability analysis*



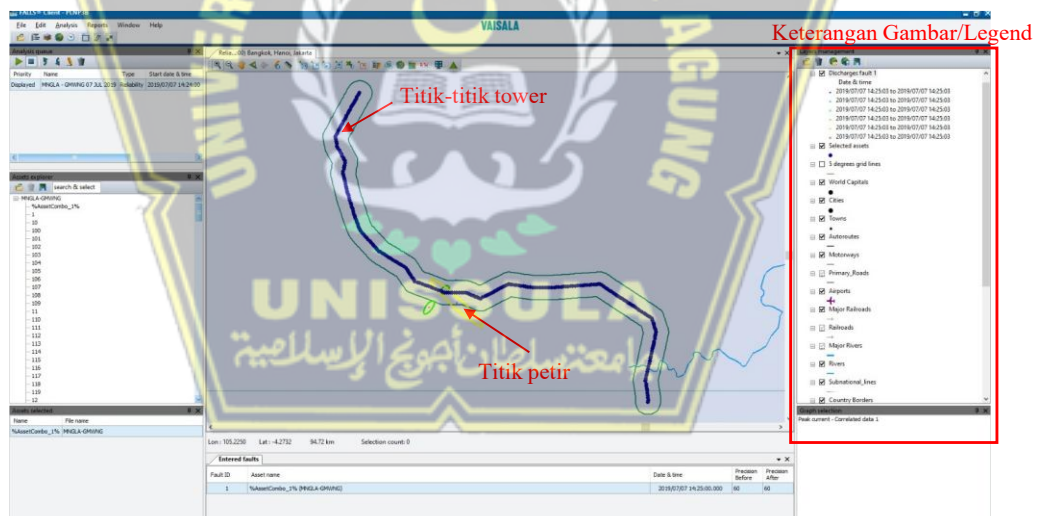
Gambar 3.14 Tampilan menu *reliability analysis*

5. Isikan nama *analysis* [1], isikan radius pembacaan gangguan dari masing-masing tower (contoh : 2 km) [2], pilih *asset* name (contoh : MNGLA - GMWNG) [3], masukan tanggal dan jam gangguan [4], kemudian isikan *precision before* dan *after* (contoh : 60 atau 120) [5], lalu klik *add* [6], kemudian klik *discrete only* [7] , Setelah itu klik *Run* [8]



Gambar 3.15 Tampilan isian *reliability analysis*

6. Setelah itu akan muncul gambar titik-titik tower berwarna biru dan hasil deteksi petir berupa titik yang berada di dalam lingkaran. Untuk keterangan gambar bisa di baca pada *legend* Sebelah kanan.



Gambar 3.16 Hasil analisis sambaran petir

3.6 Teknik Analisis Data

3.6.1 Ekstraksi & Pra-pemrosesan Data

1. Mengambil data rekaman DFR IQ+ dalam format .CDF (format umum: COMTRADE – .CFG dan .DAT)
2. Membuka rekaman gangguan dengan aplikasi *waveform viewer* kemudian melakukan filter *digital* seperti mengubah mode gelombang menjadi RMS, pengaturan skala gelombang untuk memudahkan analisis data
3. Segmentasi sinyal menjadi: *Pre-fault* (sebelum gangguan), *Fault* (saat gangguan), *Post-fault* (setelah gangguan)

3.6.2 Identifikasi data menggunakan *Time-Domain Analysis*

1. Amati bentuk gelombang arus dan tegangan.
2. Indikasi umum:
 - Lonjakan arus tajam: hubung singkat (*short circuit*)
 - Tegangan drop tiba-tiba: *fault* atau pemutusan
 - Arus bolak-balik tidak simetris: gangguan 1 atau 2 fase
3. Bandingkan dengan kondisi normal (*pre-fault*)

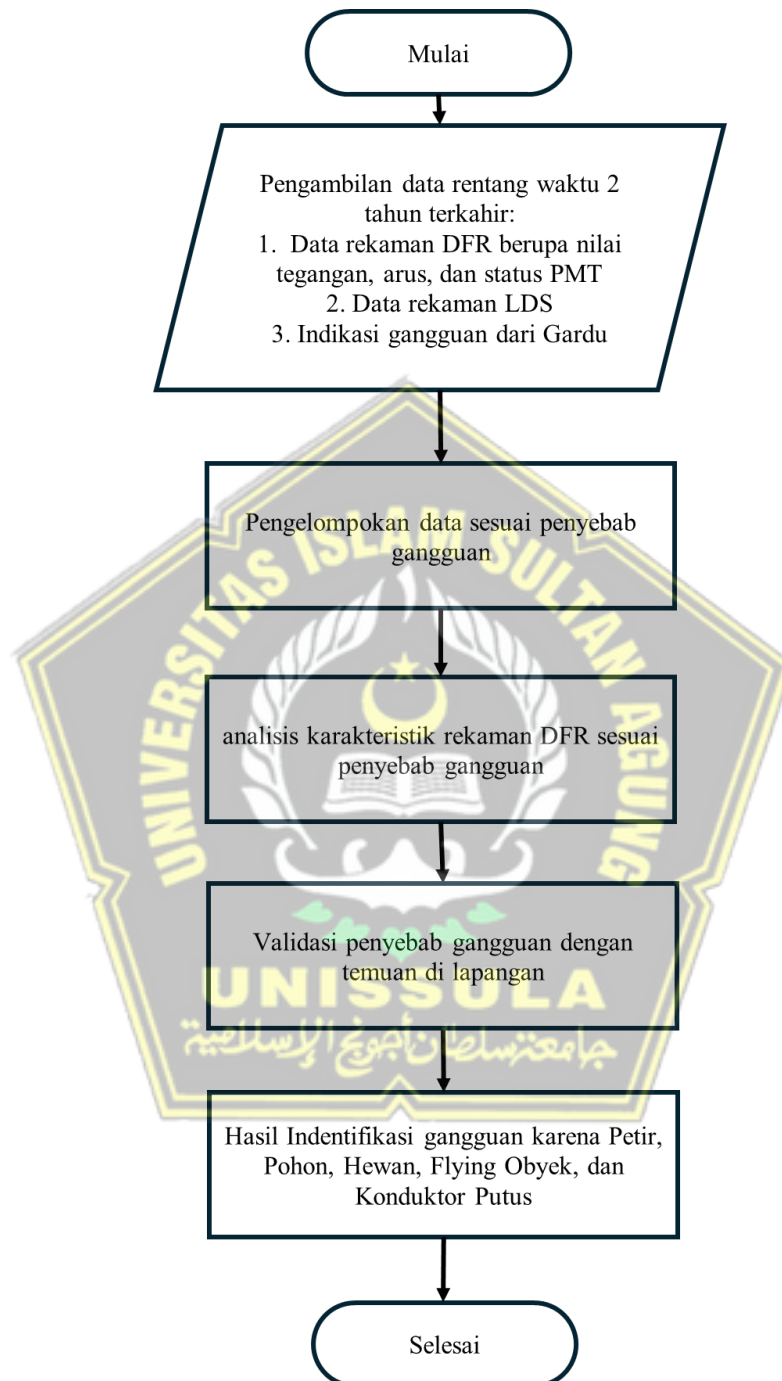
3.6.3 Memasukkan parameter data pendukung

1. Data sambaran petir dari aplikasi LDS sesuai waktu dan lokasi gangguan
2. Waktu kejadian gangguan
3. Indikasi gangguan yang muncul pada rele antara lain: *Distance Zone 1*, *trip phasa R*, *DEF send*, *autorecloser success*, cuaca sekitar gardu induk pada saat terjadi gangguan (misal: hujan disertai petir), *counter lightning arrester* tetap/bertambah, jarak gangguan dari TWS
4. Eviden berupa foto temuan di lapangan penyebab gangguan yang sebenarnya

3.6.4 Analisis penyebab gangguan

Menggabungkan data-data diatas untuk menyimpulkan penyebab gangguan kemudian disajikan dalam bentuk diagram alir.

3.7 Diagram alir penelitian



Gambar 3.17 Diagram alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Gangguan Transmisi

Berikut adalah data gangguan transmisi di sistem sumatera yang dikelompokkan berdasarkan penyebab gangguan yang divalidasi dengan eviden temuan di lapangan tahun 2023 dan 2024.

Tabel 4.1 Data gangguan transmisi tahun 2023

No.	Kategori Penyebab	Tidak Padam (kali)			Padam (kali)		
		2022	2023	Penurunan	2022	2023	Penurunan
1	Alam	247	353	-43%	16	33	-106%
2	Alat	26	14	46%	37	32	14%
3	Binatang	61	58	5%	6	14	-133%
4	Human error	1	-	100%	1	3	-200%
5	Layang-layang	4	19	-375%	-	-	0%
6	Over load	-	-	0%	-	1	-100%
7	Pohon/ranting	26	14	46%	1	2	-100%
8	Rele mala kerja	-	-	0%	-	-	0%
9	Relay	-	-	0%	1	-	100%
10	Penyulang	1	-	100%	11	6	45%
11	Sistem	19	6	68%	5	1	80%
12	PFL	42	45	-7%	10	4	60%
Jumlah		427	509	-19%	88	96	-9%

Tabel 4.2 Data gangguan transmisi tahun 2024

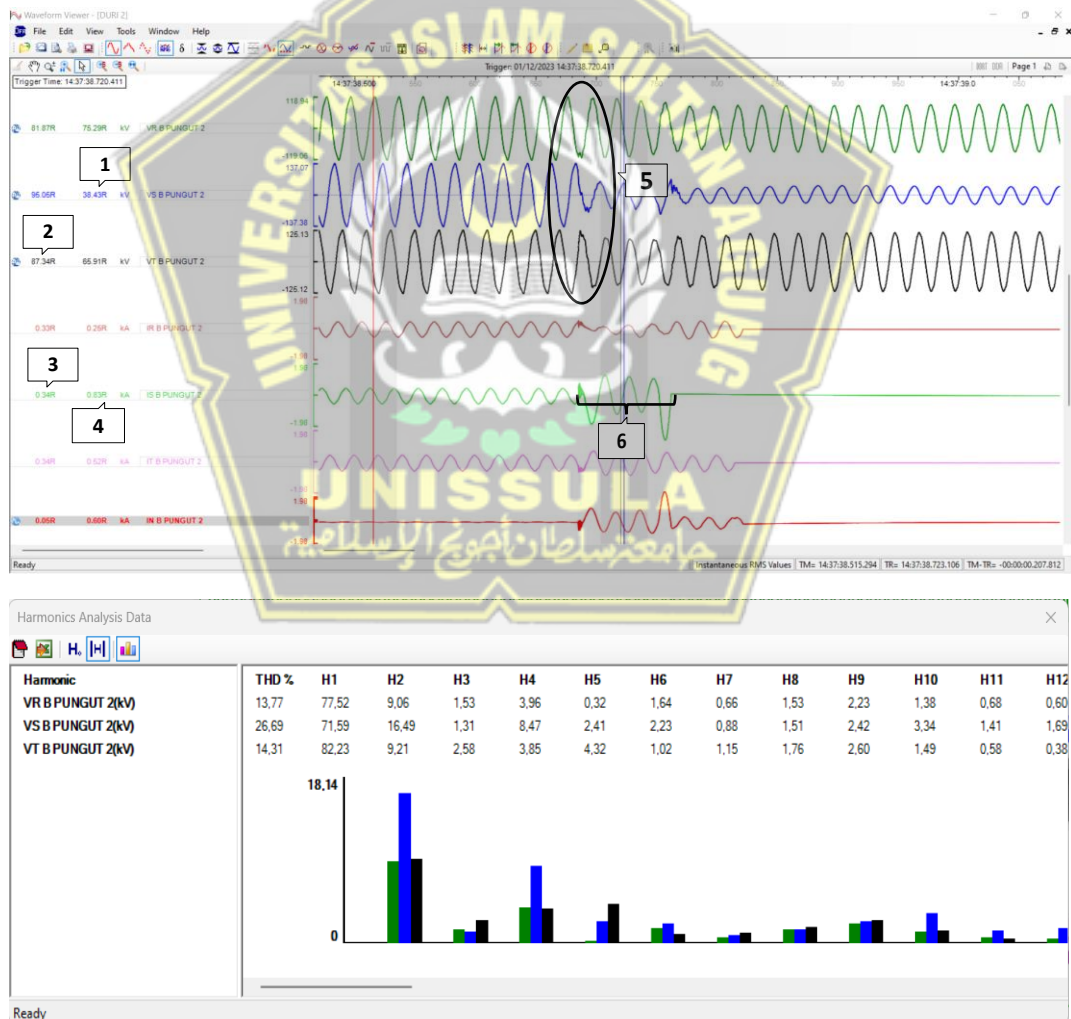
No.	Kategori Penyebab	Tidak Padam (kali)			Padam (kali)		
		2023	2024	Penurunan	2023	2024	Penurunan
1	Alam	298	329	-10%	27	29	-7%
2	Alat	13	22	-69%	30	30	0%
3	Binatang	50	56	-12%	12	5	58%
4	Human error	-	-	0%	3	1	100%
5	Layang-layang	18	12	33%	0	0	0%
6	Over load	-	-	0%	1	0	0%
7	Pohon/ranting	10	31	-210%	1	8	-700%
8	Rele mala kerja	-	-	0%	0	0	0%
9	Relay	-	-	0%	0	0	0%
10	Penyulang	-	-	0%	3	6	-100%
11	Sistem	7	1	0%	1	4	-300%
12	PFL	35	52	-49%	6	10	-67%
Jumlah		431	503	-17%	84	93	-11%

4.2 Analisis Data Rekaman DFR

Berdasarkan data gangguan transmisi yang telah dikelompokkan menurut penyebab gangguan dan telah tervalidasi melalui temuan di lapangan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2, dipilih lima sampel data dari masing-masing kategori penyebab gangguan untuk dilakukan analisis untuk memperoleh gambaran karakteristik setiap jenis gangguan, kemudian hasil analisis dapat digunakan sebagai dasar dalam penyusunan flowchart analisis gangguan.

4.2.1 Analisis gangguan disebabkan oleh petir

1. Rekaman DFR Penghantar DURI-BLPGT 2 (1 Des 2023, 14:37:38)



Gambar 4.1 Rekaman gangguan PHT Duri-Balai Pungut 2

Analisis rekaman :

1. Tegangan pada saat gangguan yang ditunjukkan garis biru dikonversi menjadi tegangan 3 fasa dengan menggunakan rumus 2.1 dan 2.2 sebagai berikut :

$$V = V_{1\text{phase}} \times \sqrt{3} = 38.43 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 66.56 \text{ KV}$$

Konversi tegangan terbaca menjadi tegangan dalam p.u sebagai berikut :

$$V = 66.56 \text{ KV} / 150 \text{ KV} = 0.44 \text{ pu}$$

2. Tegangan sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$V = V_{1\text{phase}} \times \sqrt{3} = 87.34 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 151 \text{ KV (1.00 pu)}$$

3. Arus sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$I = I_{1\text{phase}} \times 1000 = 0.34 \times 1000 \text{ A} = 340 \text{ A}$$

4. Arus pada saat gangguan yang ditunjukkan garis biru :

$$I = I_{1\text{phase}} \times 1000 = 0.83 \times 1000 \text{ A} = 830 \text{ A}$$

5. Gambar nomor 5 menunjukkan cacat pada ketiga gelombang
6. Durasi gangguan 77ms dapat diukur menggunakan kursor merah diletakkan diawal gelombang dan gelombang biru diletakkan diakhir gelombang, atau diukur dengan menggunakan rumus :

$$T = 1/F = 1/50 \text{ HZ} = 0.02 \text{ S} = 20 \text{ ms (1 gelombang penuh = 20 ms)}$$

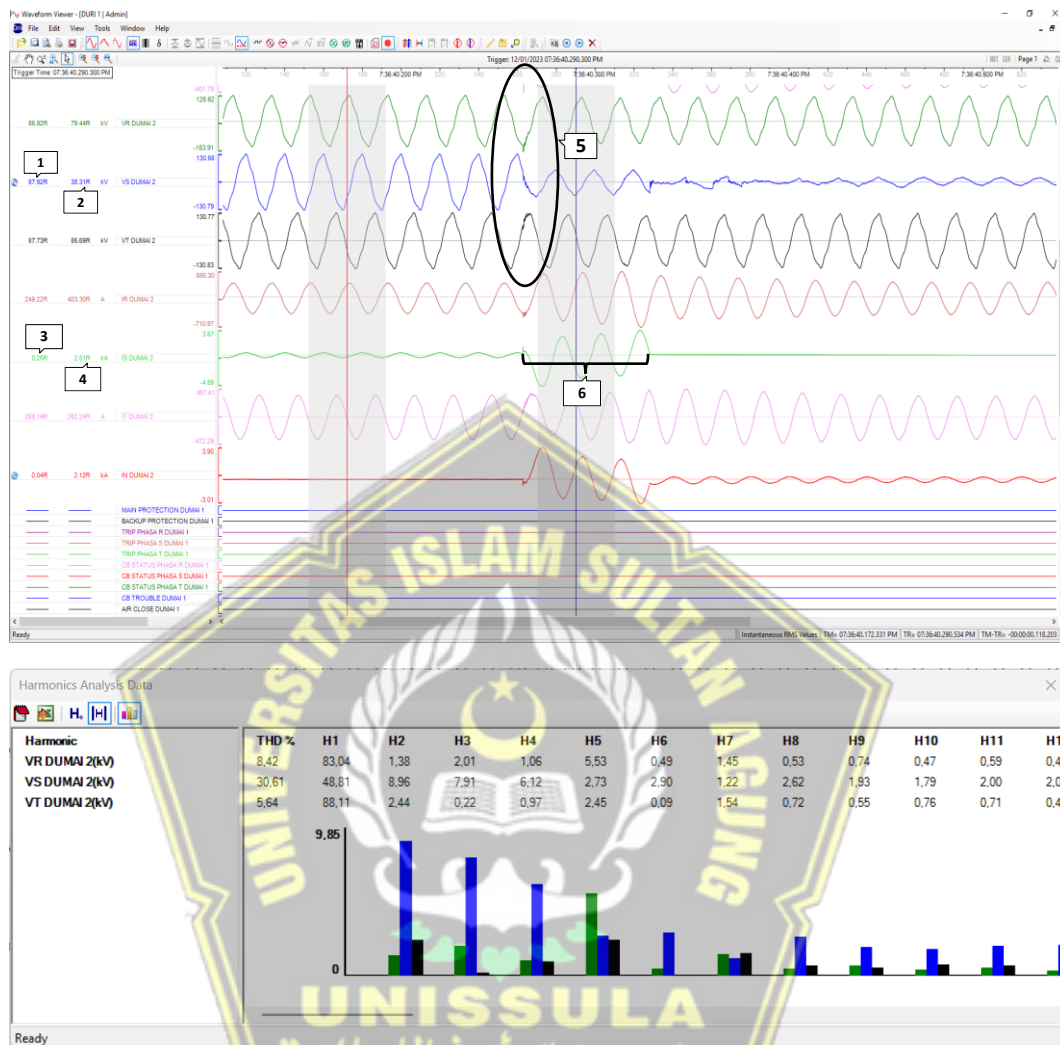
$$T \text{ gangguan} = 4 \text{ gelombang} \times 20 \text{ ms} = 80 \text{ ms}$$

7. Terdapat arus netral yang muncul ketika terjadi gangguan (IN) sebesar $0.60 \times 1000 \text{ A} = 600 \text{ A}$
8. Terdapat aktivitas petir dari rekaman LDS
9. Temuan di lapangan : ditemukan isolator *flash over*



Gambar 4.2 Eviden lapangan gangguan PHT Duri-Balai Pungut 2

2. Rekaman DFR Penghantar DURI-DUMAI 2 (1 Nov 2023, 19:36:40)



Gambar 4.3 Rekaman gangguan PHT Duri-Dumai 2

Analisis rekaman :

1. Tegangan sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$V = V_{1\text{phasa}} \times \sqrt{3} = 87.92 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 152.27 \text{ KV} (1.01 \text{ pu})$$

2. Tegangan pada saat gangguan yang ditunjukkan garis biru :

$$V = V_{1\text{phasa}} \times \sqrt{3} = 38.31 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 66.35 \text{ KV} (0.44 \text{ pu})$$

3. Arus sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$I = I_{1\text{phase}} \times 1000 = 0,26 \times 1000 \text{ A} = 260 \text{ A}$$

4. Arus pada saat gangguan yang ditunjukkan garis biru :

$$I = I_{\text{phase}} \times 1000 = 2.51 \times 1000 \text{ A} = 2510 \text{ A}$$

5. Gambar nomor 5 menunjukkan cacat pada ketiga gelombang
6. Durasi gangguan 65ms dapat diukur menggunakan kursor merah diletakkan diawal gelombang dan gelombang biru diletakkan diakhir gelombang, atau diukur dengan menggunakan rumus :

$$T = 1/F = 1/50 \text{ HZ} = 0.02 \text{ S} = 20 \text{ ms} \text{ (1 gelombang penuh = 20 ms)}$$

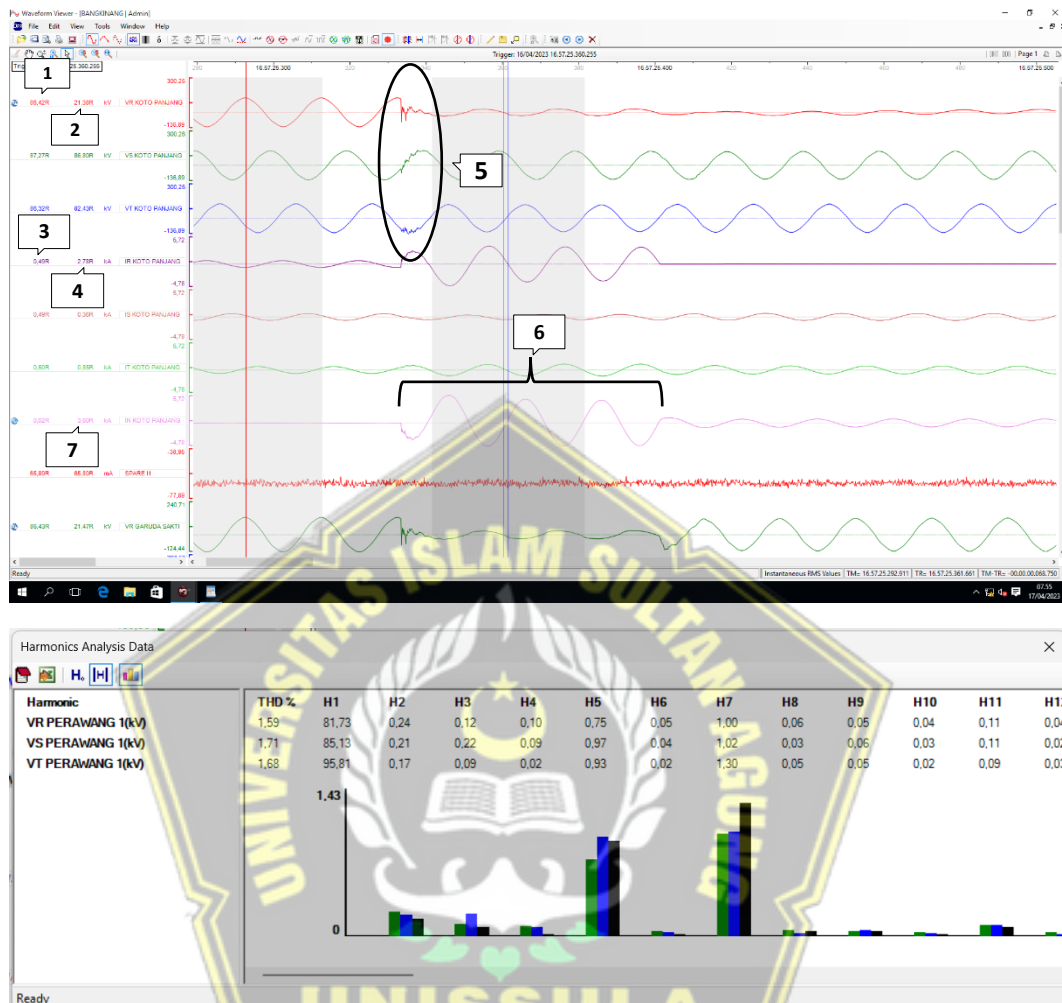
$$T \text{ gangguan} = 3 \text{ gelombang} \times 20 \text{ ms} = 60 \text{ ms}$$

7. Terdapat arus netral yang muncul ketika terjadi gangguan (IN) sebesar $2.12 \times 1000 \text{ A} = 2120 \text{ A}$
8. Terdapat aktivitas petir dari rekaman LDS
9. Temuan di lapangan : ditemukan isolator flash over



Gambar 4.4 Eviden lapangan gangguan PHT Duri-Dumai 2

3. Rekaman DFR Penghantar KTPJG-BNKNG (16 April 2023, Pukul 16:57:25)



Gambar 4.5 Rekaman gangguan PHT Kotopanjang-Bangkinang

Analisis rekaman :

1. Tegangan sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$V = V_{1\text{phase}} \times \sqrt{3} = 86.42 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 149.67 \text{ KV} (0.99 \text{ pu})$$

2. Tegangan pada saat gangguan yang ditunjukkan garis biru :

$$V = V_{1\text{phase}} \times \sqrt{3} = 21.38 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 37.03 \text{ KV} (0.24 \text{ pu})$$

3. Arus sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$I = I_{1\text{phase}} \times 1000 = 0.49 \times 1000 \text{ A} = 490 \text{ A}$$

4. Arus pada saat gangguan yang ditunjukkan garis biru :

$$I = I_{1\text{phase}} \times 1000 = 2.78 \times 1000 \text{ A} = 2780 \text{ A}$$

5. Gambar nomor 5 menunjukkan cacat pada ketiga gelombang
6. Durasi gangguan 68ms dapat diukur menggunakan kursor merah diletakkan diawal gelombang dan gelombang biru diletakkan diakhir gelombang, atau diukur dengan menggunakan rumus :

$$T = 1/F = 1/50 \text{ HZ} = 0.02 \text{ S} = 20 \text{ ms} \text{ (1 gelombang penuh = 20 ms)}$$

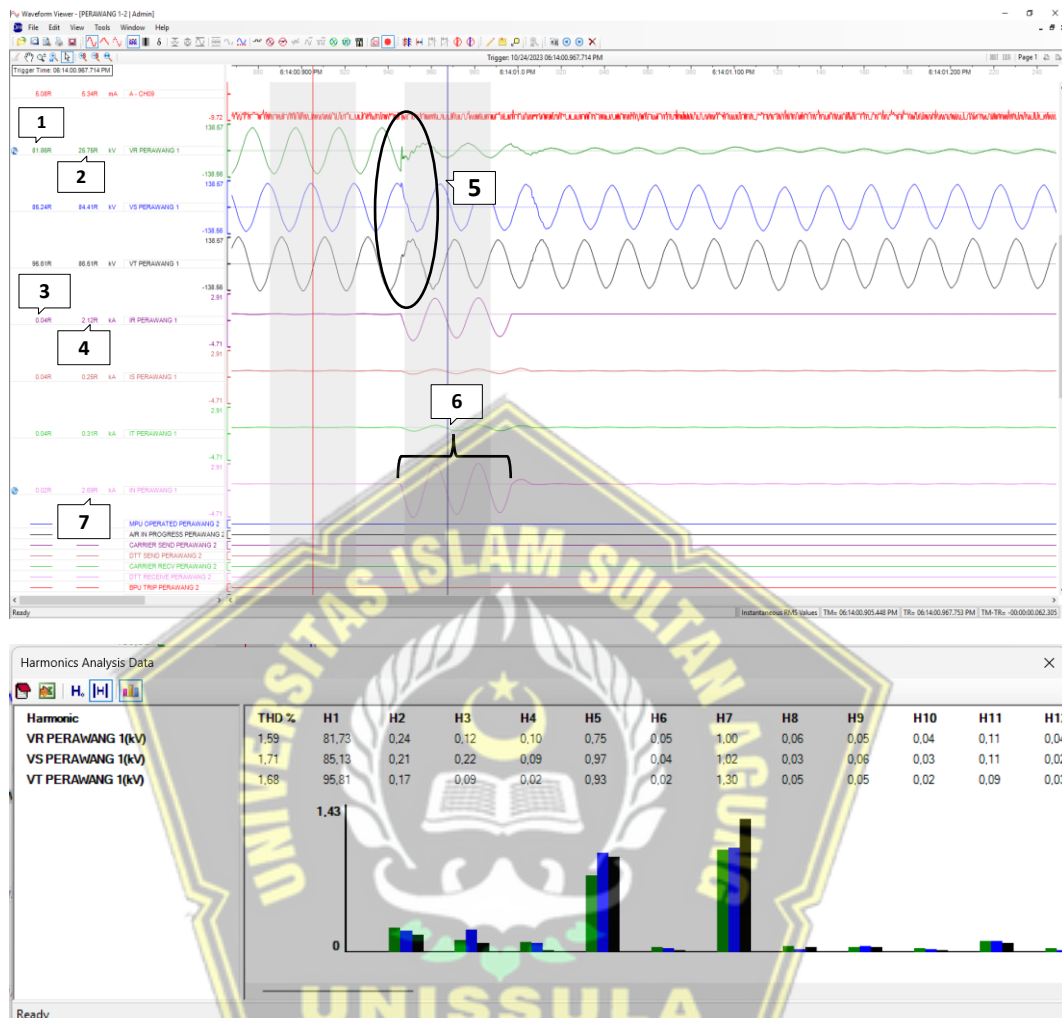
$$T \text{ gangguan} = 3.5 \text{ gelombang} \times 20 \text{ ms} = 70 \text{ ms}$$

7. Terdapat arus netral yang muncul ketika terjadi gangguan (IN) sebesar $3.60 \times 1000 \text{ A} = 1950 \text{ A}$
8. Terdapat aktivitas petir dari rekaman LDS
9. Temuan di lapangan : ditemukan Isolator polimer FO Phasa Atas



Gambar 4.6 Eviden lapangan gangguan PHT Kotopanjang-Bangkinang

4. Rekaman DFR Penghantar PRWNG-SIAK 1 (24 Okt 2023 Pukul 18:14:00)



Gambar 4.7 Rekaman gangguan PHT Perawang-Siak 1

Analisis rekaman :

1. Tegangan sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$V = V_{1\text{phase}} \times \sqrt{3} = 81.85 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 141.76 \text{ KV} (0.94 \text{ pu})$$

2. Tegangan pada saat gangguan yang ditunjukkan garis biru :

$$V = V_{1\text{phase}} \times \sqrt{3} = 25.75 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 44.59 \text{ KV} (0.29 \text{ pu})$$

3. Arus sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$I = I_{1\text{phase}} \times 1000 = 0.04 \times 1000 \text{ A} = 40 \text{ A}$$

4. Arus pada saat gangguan yang ditunjukkan garis biru :

$$I = I_{1\text{phase}} \times 1000 = 2.12 \times 1000 \text{ A} = 2120 \text{ A}$$

5. Gambar nomor 5 menunjukkan cacat pada ketiga gelombang
6. Durasi gangguan 50ms dapat diukur menggunakan kursor merah diletakkan diawal gelombang dan gelombang biru diletakkan diakhir gelombang, atau diukur dengan menggunakan rumus :

$$T = 1/F = 1/50 \text{ HZ} = 0.02 \text{ S} = 20 \text{ ms} \text{ (1 gelombang penuh = 20 ms)}$$

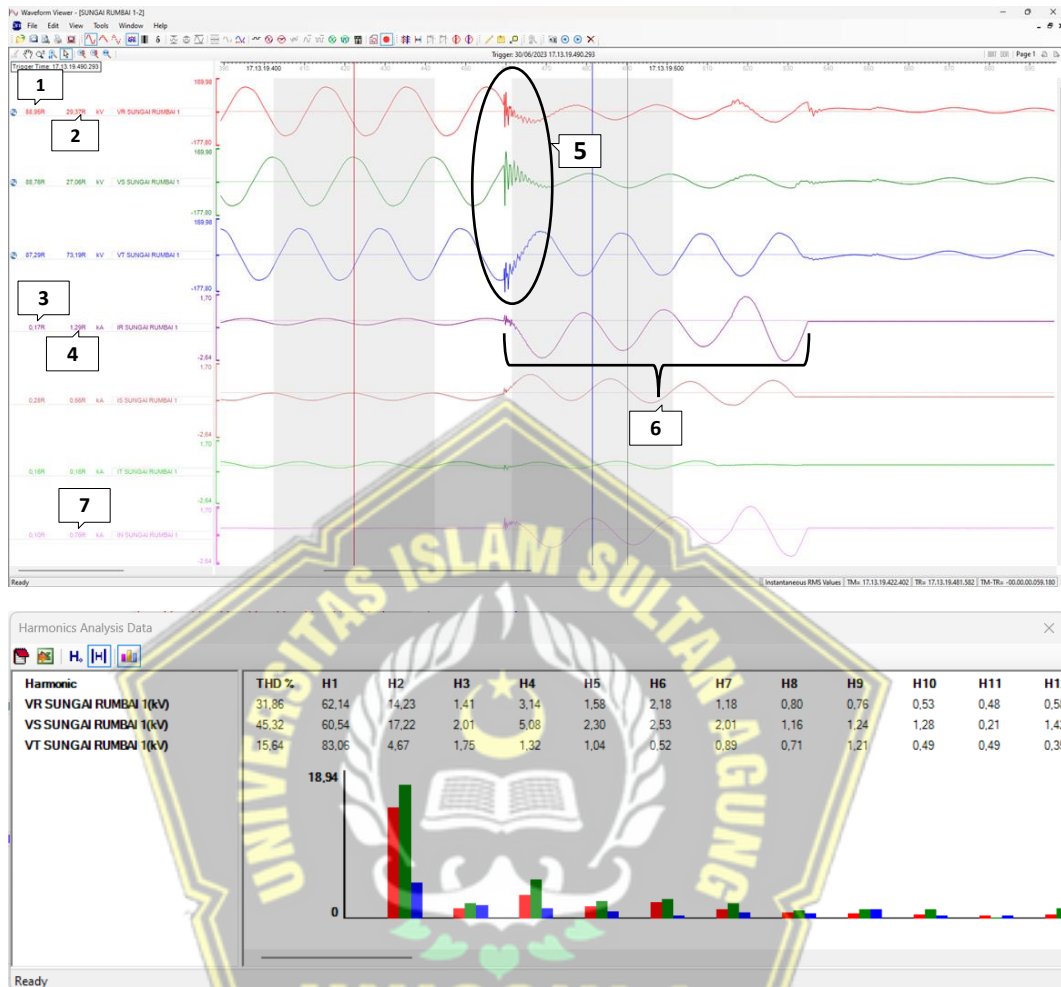
$$T \text{ gangguan} = 2.5 \text{ gelombang} \times 20 \text{ ms} = 50 \text{ ms}$$

7. Terdapat arus netral yang muncul ketika terjadi gangguan (IN) sebesar $2.69 \times 1000 \text{ A} = 2690 \text{ A}$
8. Terdapat aktivitas petir dari rekaman LDS
9. Temuan di lapangan : ditemukan arching horn tower 151 *flashover*



Gambar 4.8 Rekaman gangguan PHT Aurduri-Muara Tebo

5. Rekaman DFR Penghantar SRBAI-MRBOH 1 (30 Jun 2023 Pukul 17:13:19)



Gambar 4.9 Rekaman gangguan PHT Sungai Rumbai-Muara Laboh 1

Analisis rekaman :

1. Tegangan sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$V = V_{1\text{phase}} \times \sqrt{3} = 88.95 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 154.06 \text{ KV (1.02 pu)}$$

2. Tegangan pada saat gangguan yang ditunjukkan garis biru :

$$V = V_{1\text{phase}} \times \sqrt{3} = 29.37 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 50.86 \text{ KV (0.33 pu)}$$

3. Arus sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$I = I_{1\text{phase}} \times 1000 = 0,17 \times 1000 \text{ A} = 170 \text{ A}$$

4. Arus pada saat gangguan yang ditunjukkan garis biru :

$$I = I_{1\text{phase}} \times 1000 = 1.29 \times 1000 \text{ A} = 1290 \text{ A}$$

5. Gambar nomor 5 menunjukkan cacat pada ketiga gelombang
6. Durasi gangguan 76ms dapat diukur menggunakan kursor merah diletakkan diawal gelombang dan gelombang biru diletakkan diakhir gelombang, atau diukur dengan menggunakan rumus:

$$T = 1/F = 1/50 \text{ HZ} = 0.02 \text{ S} = 20 \text{ ms} \text{ (1 gelombang penuh = 20 ms)}$$

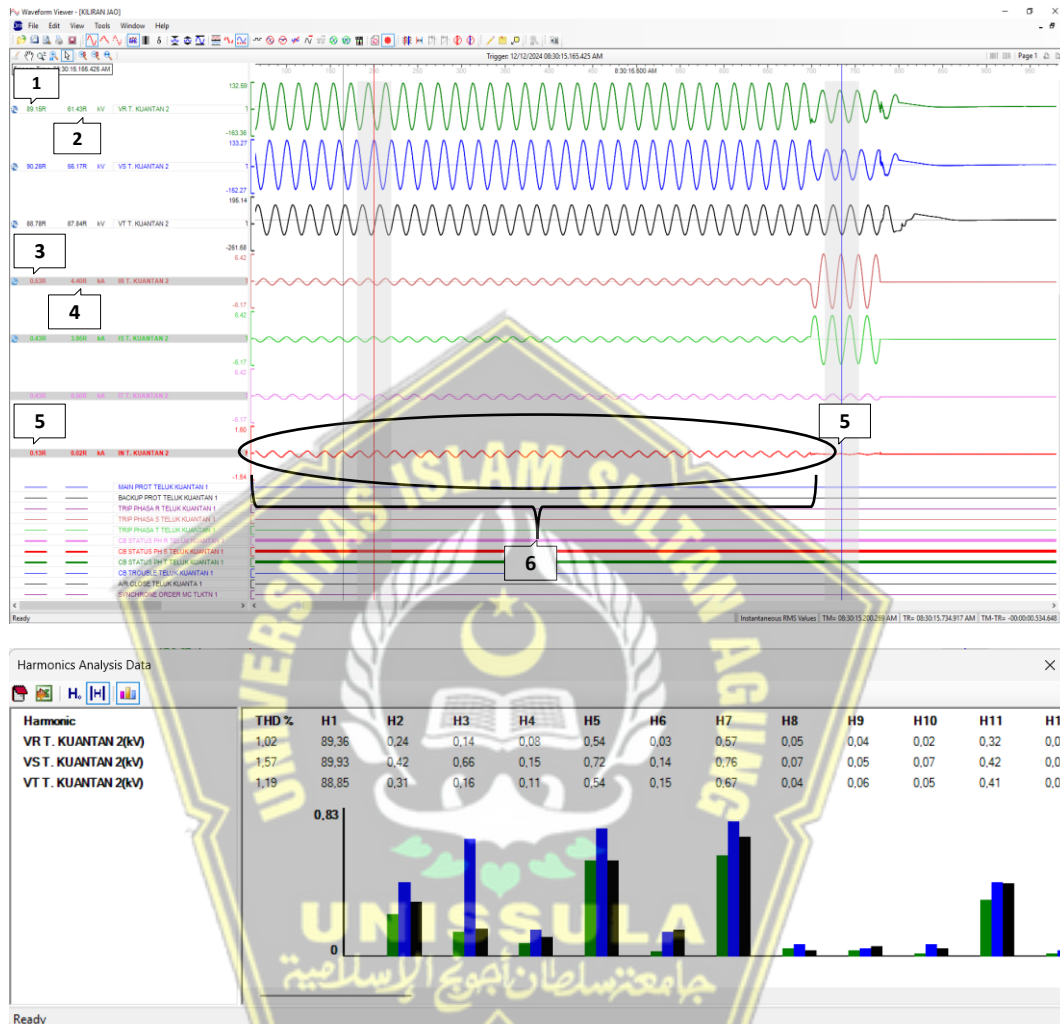
$$T \text{ gangguan} = 3.7 \text{ gelombang} \times 20 \text{ ms} = 75 \text{ ms}$$
7. Terdapat arus netral yang muncul ketika terjadi gangguan (IN) sebesar $0.76 \times 1000 \text{ A} = 760 \text{ A}$
8. Terdapat aktivitas petir dari rekaman LDS
9. Temuan di lapangan : *arching horn flash over*



Gambar 4.10 Eviden lapangan gangguan PHT Sungai Rumbai-Muara Laboh 1

4.2.2 Analisis gangguan disebabkan oleh pohon

1. Rekaman DFR Penghantar KLJAO - TLKTN 2 (12 Des 2024 Pukul 08:30:15)



Gambar 4.11 Rekaman gangguan PHT Kiliranjao-Teluk Kuantan 2

Analisis rekaman :

1. Tegangan sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$V = V_{1\text{phasa}} \times \sqrt{3} = 89.15 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 154.40 \text{ KV} (1.02 \text{ pu})$$

2. Tegangan pada saat gangguan yang ditunjukkan garis biru :

$$V = V_{1\text{phasa}} \times \sqrt{3} = 61.43 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 106.39 \text{ KV} (0.70 \text{ pu})$$

3. Arus sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$I = I_{1\text{phase}} \times 1000 = 0,53 \times 1000 \text{ A} = 530 \text{ A}$$

4. Arus pada saat gangguan yang ditunjukkan garis biru :

$$I = I_{\text{phase}} \times 1000 = 4.40 \times 1000 \text{ A} = 4400 \text{ A}$$

5. Terdapat kenaikan arus netral dalam durasi yang lama ditunjukkan garis merah
 6. Durasi gangguan 844ms dapat diukur menggunakan kursor merah diletakkan diawal gelombang dan gelombang biru diletakkan diakhir gelombang, atau diukur dengan menggunakan rumus :

$$T = 1/F = 1/50 \text{ HZ} = 0.02 \text{ S} = 20 \text{ ms} \text{ (1 gelombang penuh = 20 ms)}$$

$$T \text{ gangguan} = 41.5 \text{ gelombang} \times 20 \text{ ms} = 830 \text{ ms}$$

7. Terdapat arus netral yang muncul ketika terjadi gangguan (IN) sebesar :

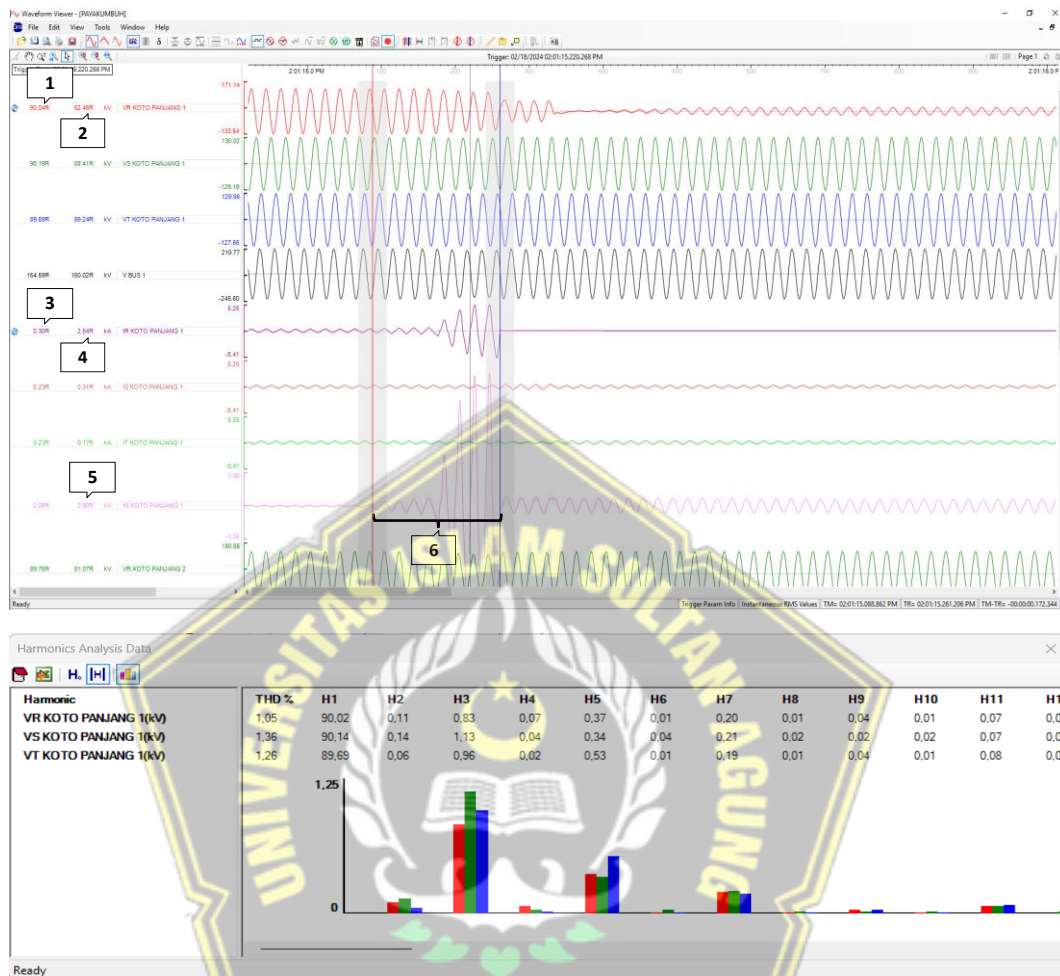
$$I = I_N \times 1000 = 0.13 \times 1000 \text{ A} = 130 \text{ A}$$

7. Tidak Terdapat aktivitas petir dari rekaman LDS
 8. Temuan di lapangan : di temukan penyebab gangguan adalah pohon sawit



Gambar 4.12 Eviden lapangan gangguan PHT Kiliranjao-Teluk Kuantan 2

2. Rekaman DFR Penghantar PYBUH-KTPJG 1 (18 Feb 2024 Pukul 14:01:15)



Gambar 4.13 Rekaman gangguan PHT Payakumbuh-Kotopanjang 1

Analisis rekaman:

1. Tegangan sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$V = V_{1\text{phase}} \times \sqrt{3} = 90.04 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 155.94 \text{ KV} (1.03 \text{ pu})$$

2. Tegangan pada saat gangguan yang ditunjukkan garis biru :

$$V = V_{1\text{phase}} \times \sqrt{3} = 62.46 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 108.18 \text{ KV} (0.72 \text{ pu})$$

3. Arus sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$I = I_{1\text{phase}} \times 1000 = 0,30 \times 1000 \text{ A} = 300 \text{ A}$$

4. Arus pada saat gangguan yang ditunjukkan garis biru :

$$I = I_{1\text{phase}} \times 1000 = 2.54 \times 1000 \text{ A} = 2540 \text{ A}$$

5. Terdapat kenaikan arus netral dalam durasi yang lama ditunjukkan garis merah
6. Durasi gangguan 172ms dapat diukur menggunakan kursor merah diletakkan diawal gelombang dan gelombang biru diletakkan diakhir gelombang, atau diukur dengan menggunakan rumus :

$$T = 1/F = 1/50 \text{ HZ} = 0.02 \text{ S} = 20 \text{ ms} \text{ (1 gelombang penuh = 20 ms)}$$

$$T \text{ gangguan} = 8.5 \text{ gelombang} \times 20 \text{ ms} = 170 \text{ ms}$$

7. Terdapat arus netral yang muncul ketika terjadi gangguan (IN) sebesar :

$$I = I_N \times 1000 = 2.50 \times 1000 \text{ A} = 2500 \text{ A}$$

8. Tidak Terdapat aktivitas petir dari rekaman LDS
9. Temuan di lapangan : ditemukan dahan pohon pisang terbakar



Gambar 4.14 Eviden lapangan gangguan PHT Payakumbuh-Kotopanjang 1

3. Rekaman DFR Penghantar BNGKO-SPNUH 1 (15 Mar 2024 Pukul 13:52:31)



Gambar 4.15 Rekaman gangguan PHT Bangko-Sungai Penuh 1

Analisis rekaman:

1. Tegangan sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$V = V_{1\text{phase}} \times \sqrt{3} = 87.14 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 150.92 \text{ KV (1.00 pu)}$$

2. Tegangan pada saat gangguan yang ditunjukkan garis biru :

$$V = V_{1\text{phase}} \times \sqrt{3} = 54.64 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 94.63 \text{ KV (0.63 pu)}$$

3. Arus sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$I = I_{1\text{phase}} \times 1000 = 0.33 \times 1000 \text{ A} = 330 \text{ A}$$

4. Arus pada saat gangguan :

$$I = I_{1\text{phase}} \times 1000 = 0.99 \times 1000 \text{ A} = 990 \text{ A}$$

5. Terdapat kenaikan arus netral dalam durasi yang lama ditunjukkan garis merah

6. Durasi gangguan 290ms dapat diukur menggunakan kursor merah diletakkan diawal gelombang dan gelombang biru diletakkan diakhir gelombang, atau diukur dengan menggunakan rumus :

$$T = 1/F = 1/50 \text{ HZ} = 0.02 \text{ S} = 20 \text{ ms} \text{ (1 gelombang penuh = 20 ms)}$$

$$T \text{ gangguan} = 14.5 \text{ gelombang} \times 20 \text{ ms} = 290 \text{ ms}$$

7. Terdapat arus netral yang muncul ketika terjadi gangguan (IN) sebesar :

$$I = I_N \times 1000 = 0.54 \times 1000 \text{ A} = 540 \text{ A}$$

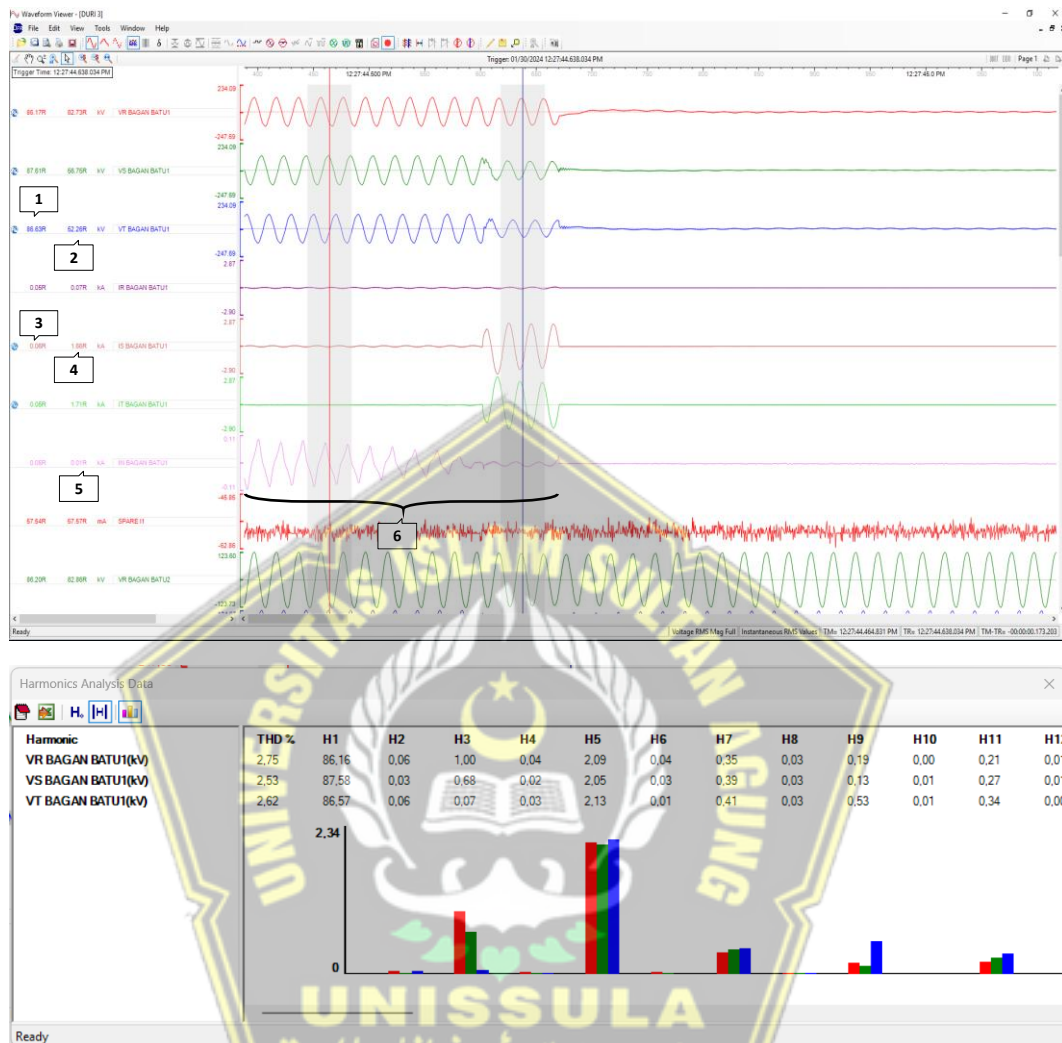
8. Tidak Terdapat aktivitas petir dari rekaman LDS

9. Temuan di lapangan : ditemukan pohon kritis di span Tower 315-316



Gambar 4.16 Eviden lapangan gangguan PHT Bangko-Sungai Penuh 1

4. Rekaman DFR Penghantar DURI-BBatu 1 (30 Jan 2024 Pukul 12:27:44)



Gambar 4.17 Rekaman gangguan PHT Duri-Bagan Batu 1

Analisis rekaman:

1. Tegangan sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$V = V_{1\text{phasa}} \times \sqrt{3} = 86.03 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 150.04 \text{ KV (1.00 pu)}$$

2. Tegangan pada saat gangguan yang ditunjukkan garis biru :

$$V = V_{1\text{phasa}} \times \sqrt{3} = 52.26 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 90.51 \text{ KV (0.60 pu)}$$

3. Arus sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$I = I_{1\text{phasa}} \times 1000 = 0,06 \times 1000 \text{ A} = 60 \text{ A}$$

4. Arus pada saat gangguan :

$$I = I_{\text{phase}} \times 1000 = 1.66 \times 1000 \text{ A} = 1660 \text{ A}$$

5. Terdapat kenaikan arus netral dalam durasi yang lama ditunjukkan garis merah
6. Durasi gangguan 272ms dapat diukur menggunakan kursor merah diletakkan diawal gelombang dan gelombang biru diletakkan diakhir gelombang, atau diukur dengan menggunakan rumus :

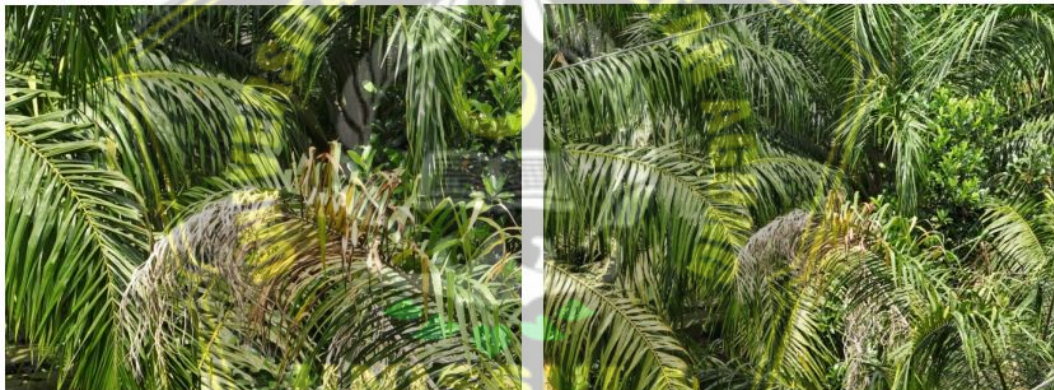
$$T = 1/F = 1/50 \text{ HZ} = 0.02 \text{ S} = 20 \text{ ms} \text{ (1 gelombang penuh = 20 ms)}$$

$$T \text{ gangguan} = 14 \text{ gelombang} \times 20 \text{ ms} = 280 \text{ ms}$$

7. Terdapat arus netral yang muncul ketika terjadi gangguan (IN) sebesar :

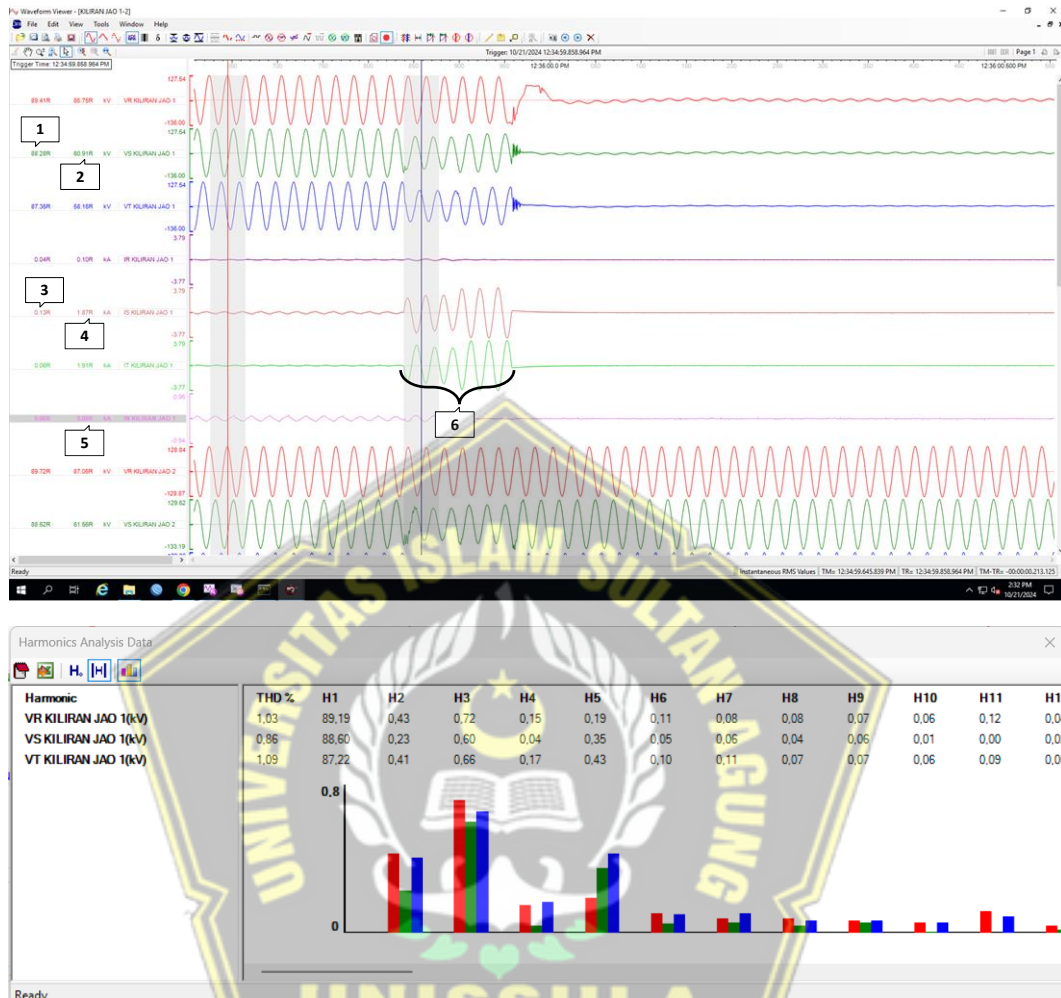
$$I = I_N \times 1000 = 0.05 \times 1000 \text{ A} = 50 \text{ A}$$

8. Tidak Terdapat aktivitas petir dari rekaman LDS
9. Temuan di lapangan : ditemukan dahan sawit terbakar di tower 141



Gambar 4.18 Eviden Lapangan gangguan PHT Duri-Bagan Batu 1

5. Rekaman DFR Penghantar KLJAO - OMBLN 1 (21 Okt 2024 Pukul 12:34:59)



Gambar 4.19 Rekaman gangguan PHT Kiliranjao-Ombilin 1

Analisis rekaman:

1. Tegangan sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$V = V_{1\text{phase}} \times \sqrt{3} = 88.28 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 152.90 \text{ KV} (1.01 \text{ pu})$$

2. Tegangan pada saat gangguan yang ditunjukkan garis biru :

$$V = V_{1\text{phase}} \times \sqrt{3} = 60.91 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 105.4 \text{ KV} (0.70 \text{ pu})$$

3. Arus sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$I = I_{1\text{phase}} \times 1000 = 0,13 \times 1000 \text{ A} = 130 \text{ A}$$

4. Arus pada saat gangguan :

$$I = I_{1\text{phase}} \times 1000 = 1.87 \times 1000 \text{ A} = 1870 \text{ A}$$

5. Terdapat kenaikan arus netral dalam durasi yang lama ditunjukkan garis merah
6. Durasi gangguan 120ms dapat diukur menggunakan kursor merah diletakkan diawal gelombang dan gelombang biru diletakkan diakhir gelombang, atau diukur dengan menggunakan rumus :

$$T = 1/F = 1/50 \text{ HZ} = 0.02 \text{ S} = 20 \text{ ms} \text{ (1 gelombang penuh = 20 ms)}$$

$$T \text{ gangguan} = 6 \text{ gelombang} \times 20 \text{ ms} = 120 \text{ ms}$$

7. Terdapat arus netral yang muncul ketika terjadi gangguan (IN) sebesar :

$$I = I_N \times 1000 = 0.08 \times 1000 \text{ A} = 80 \text{ A}$$

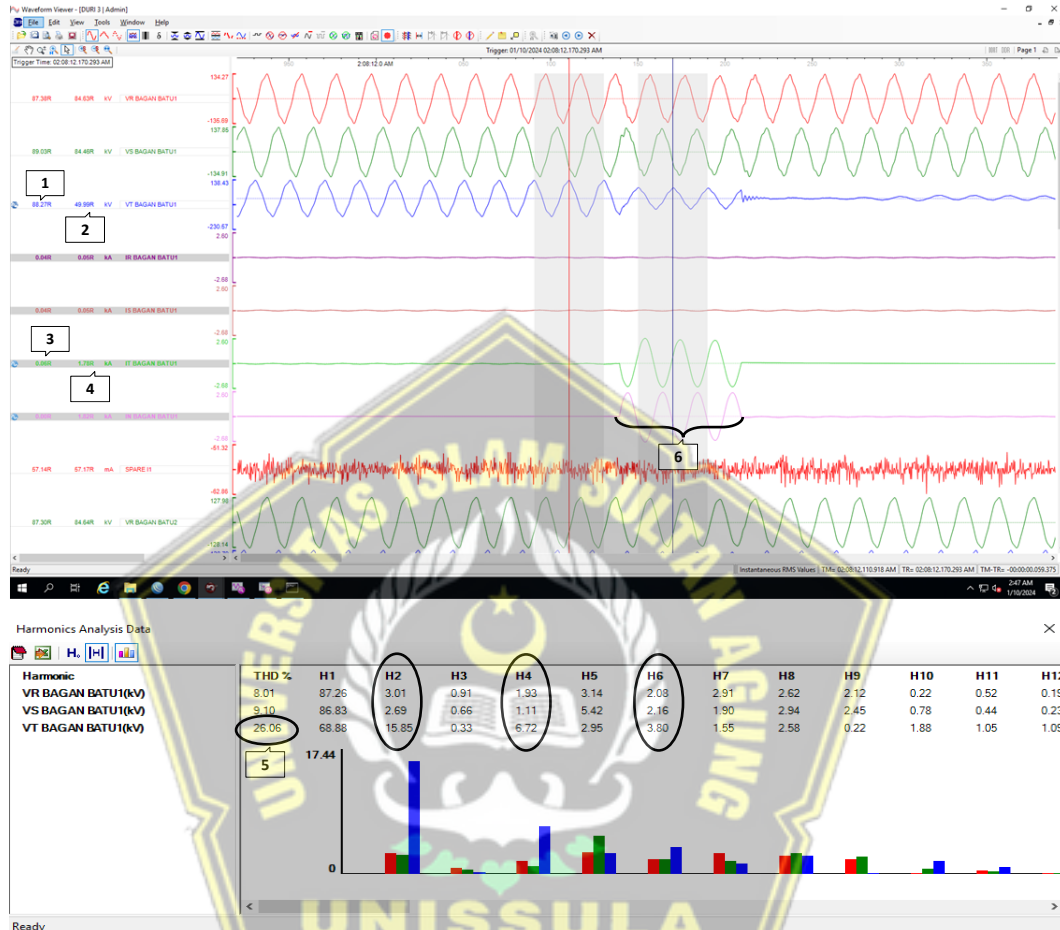
8. Tidak Terdapat aktivitas petir dari rekaman LDS
9. Temuan di lapangan : ditemukan tanam tumbuh kritis di span tower 225-226



Gambar 4.20 Eviden lapangan gangguan PHT Kiliranjao-Ombilin 1

4.2.3 Analisis gangguan disebabkan oleh hewan

1. Rekaman DFR Penghantar DURI - BBATU 1 (10 Jan 2024 Pukul 02:08:12)



Gambar 4.21 Rekaman gangguan PHT Duri-Bagan Batu 1

Analisis rekaman:

1. Tegangan sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$V = V_{1\text{phase}} \times \sqrt{3} = 88.27 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 152.88 \text{ KV (1.01 pu)}$$

2. Tegangan pada saat gangguan yang ditunjukkan garis biru :

$$V = V_{1\text{phase}} \times \sqrt{3} = 49.99 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 56.58 \text{ KV (0.57 pu)}$$

3. Arus sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$I = I_{1\text{phase}} \times 1000 = 0,04 \times 1000 \text{ A} = 40 \text{ A}$$

4. Arus pada saat gangguan :

$$I = I_{1\text{phase}} \times 1000 = 1.78 \times 1000 \text{ A} = 1780 \text{ A}$$

5. Terdapat harmonisa ke 2,4,6 > 3% dan THD > 20%
6. Durasi gangguan 70ms dapat diukur menggunakan kursor merah diletakkan diawal gelombang dan gelombang biru diletakkan diakhir gelombang, atau diukur dengan menggunakan rumus :

$$T = 1/F = 1/50 \text{ HZ} = 0.02 \text{ S} = 20 \text{ ms} \text{ (1 gelombang penuh = 20 ms)}$$

$$T \text{ gangguan} = 3.5 \text{ gelombang} \times 20 \text{ ms} = 70 \text{ ms}$$

7. Terdapat arus netral yang muncul ketika terjadi gangguan (IN) sebesar :

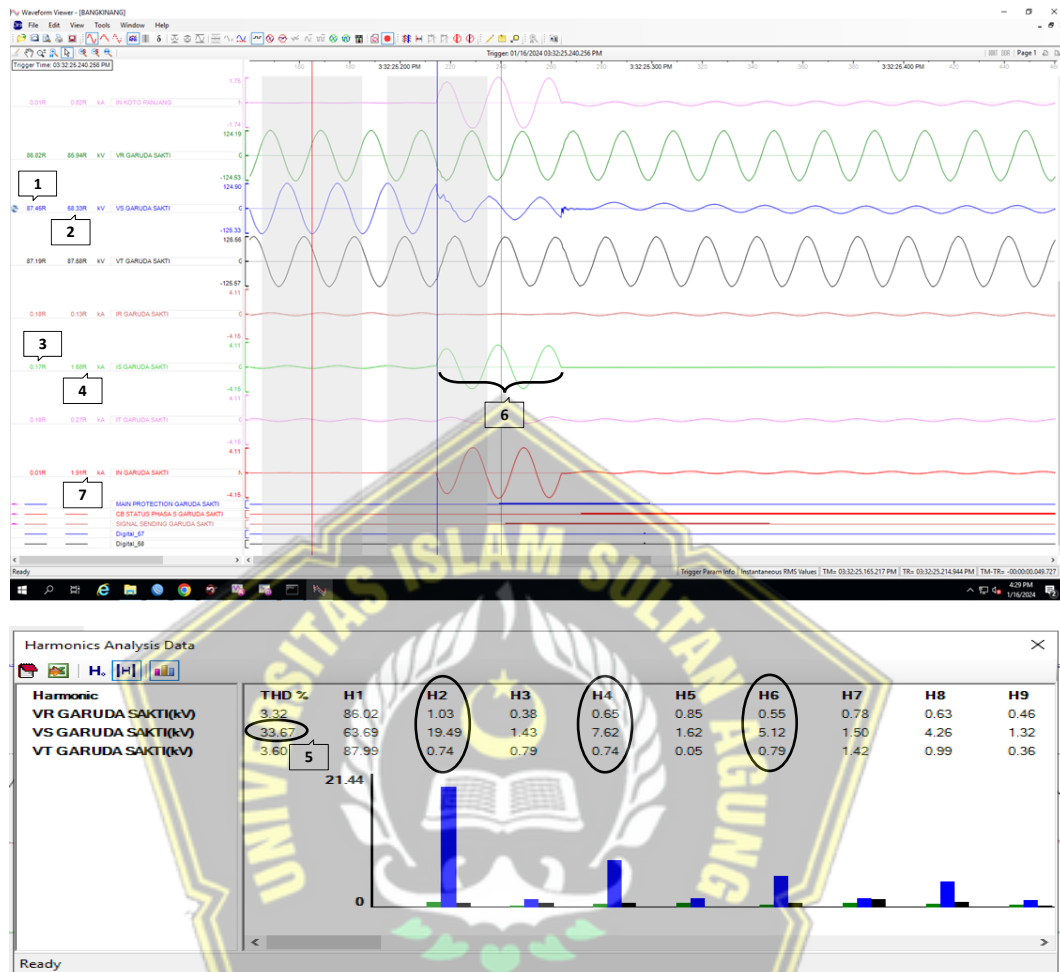
$$I = I_N \times 1000 = 1.82 \times 1000 \text{ A} = 1820 \text{ A}$$

8. Tidak Terdapat aktivitas petir dari rekaman LDS
9. Temuan di lapangan : ditemukan aktifitas hewan monyet dan isolator flash over



Gambar 4.22 Eviden lapangan gangguan PHT Duri-Bagan Batu 1

2. Rekaman DFR Penghantar BNKNG - GRDSK (16 Jan 2024 Pukul 15:32:25)



Gambar 4.23 Rekaman gangguan PHT Bangkinang-Garuda Sakti

Analisis rekaman:

1. Tegangan sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$V = V_{1\text{phase}} \times \sqrt{3} = 87.45 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 151.46 \text{ KV} (1.00 \text{ pu})$$

2. Tegangan pada saat gangguan yang ditunjukkan garis biru :

$$V = V_{1\text{phase}} \times \sqrt{3} = 68.33 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 118.34 \text{ KV} (0.78 \text{ pu})$$

3. Arus sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$I = I_{1\text{phase}} \times 1000 = 0.17 \times 1000 \text{ A} = 170 \text{ A}$$

4. Arus pada saat gangguan :

$$I = I_{1\text{phase}} \times 1000 = 1.68 \times 1000 \text{ A} = 1680 \text{ A}$$

5. Terdapat harmonisa ke 2,4,6 > 3% dan THD > 20%
6. Durasi gangguan 50ms dapat diukur menggunakan cursor merah diletakkan diawal gelombang dan gelombang biru diletakkan diakhir gelombang, atau diukur dengan menggunakan rumus :

$$T = 1/F = 1/50 \text{ HZ} = 0.02 \text{ S} = 20 \text{ ms (1 gelombang penuh = 20 ms)}$$

$$T \text{ gangguan} = 2.5 \text{ gelombang} \times 20 \text{ ms} = 50 \text{ ms}$$

7. Terdapat arus netral yang muncul ketika terjadi gangguan (IN) sebesar :

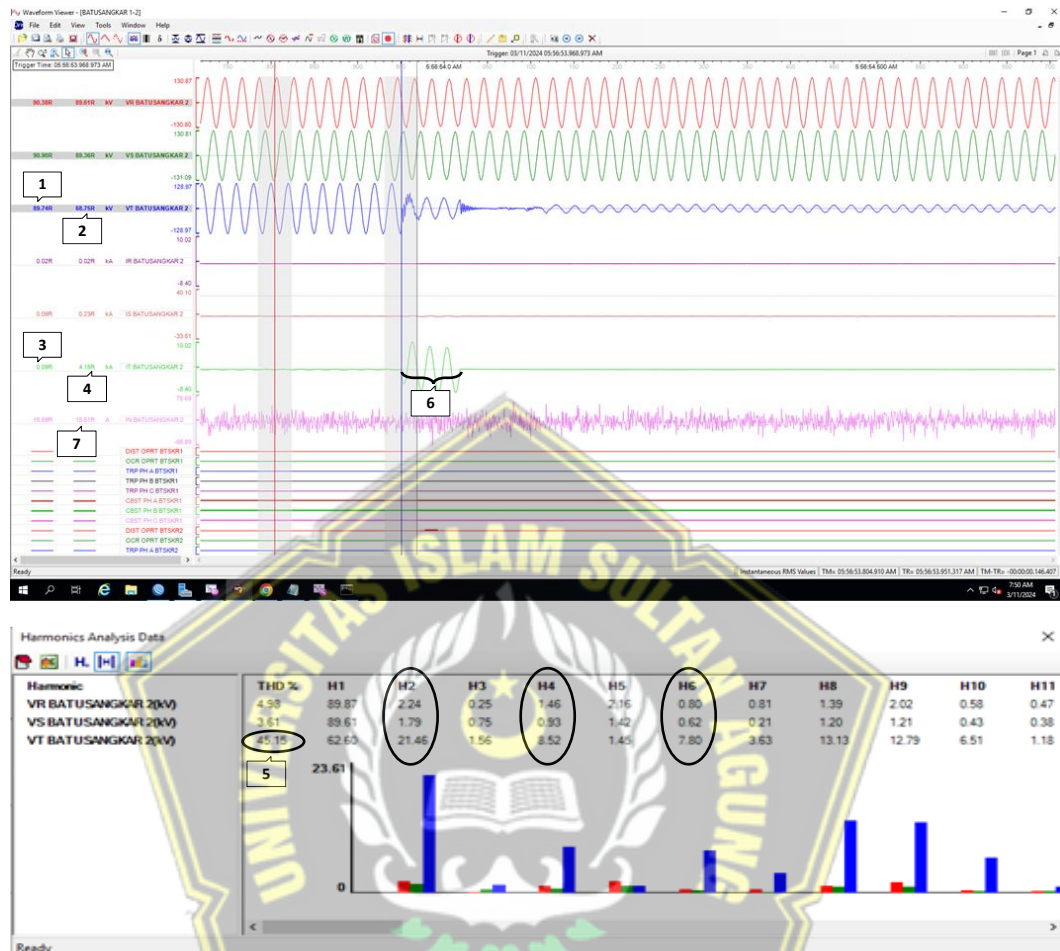
$$I = I_N \times 1000 = 1.91 \times 1000 \text{ A} = 1910 \text{ A}$$

8. Tidak Terdapat aktivitas petir dari rekaman LDS
9. Temuan di lapangan : ditemukan isolator pecah dan aktifitas hewan monyet



Gambar 4.24 Eviden lapangan gangguan PHT Bangkinang-Garuda Sakti

3. Rekaman DFR Penghantar OMBLN-BTSKR 2 (11 Mar 2024 Pukul 05:56:53)



Gambar 4.25 Rekaman gangguan PHT Ombilin-Batusangkar 2

Analisis rekaman:

1. Tegangan sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$V = V_{1\text{phase}} \times \sqrt{3} = 87.45 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 151.46 \text{ KV (1.00 pu)}$$

2. Tegangan pada saat gangguan yang ditunjukkan garis biru :

$$V = V_{1\text{phase}} \times \sqrt{3} = 68.33 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 118.34 \text{ KV (0.78 pu)}$$

3. Arus sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$I = I_{1\text{phase}} \times 1000 = 0.17 \times 1000 \text{ A} = 170 \text{ A}$$

4. Arus pada saat gangguan :

$$I = I_{1\text{phase}} \times 1000 = 1.68 \times 1000 \text{ A} = 1680 \text{ A}$$

5. Terdapat harmonisa ke 2,4,6 > 3% dan THD > 20%

6. Durasi gangguan 70ms dapat diukur menggunakan cursor merah diletakkan diawal gelombang dan gelombang biru diletakkan diakhir gelombang, atau diukur dengan menggunakan rumus :

$$T = 1/F = 1/50 \text{ HZ} = 0.02 \text{ S} = 20 \text{ ms} \text{ (1 gelombang penuh = 20 ms)}$$

$$T \text{ gangguan} = 3.5 \text{ gelombang} \times 20 \text{ ms} = 70 \text{ ms}$$

7. Terdapat arus netral yang muncul ketika terjadi gangguan (IN) sebesar :

$$I = I_N \times 1000 = 1.82 \times 1000 \text{ A} = 1820 \text{ A}$$

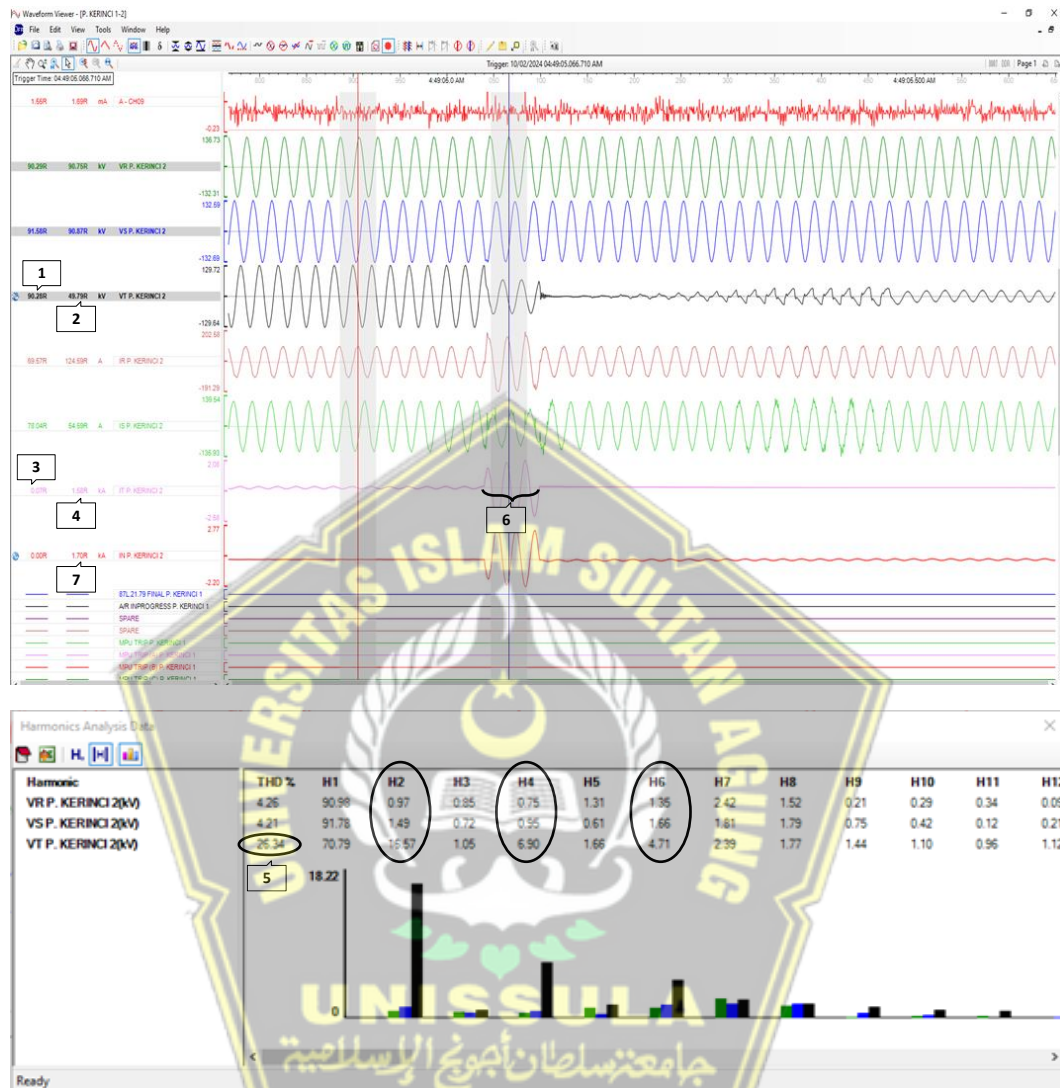
8. Tidak Terdapat aktivitas petir dari rekaman LDS

9. Temuan di lapangan: ditemukan arching horn flash over dan aktifitas monyet



Gambar 4.26 Eviden lapangan gangguan PHT Ombilin-Batusangkar 2

4. Rekaman DFR Penghantar RENGAT-PKKRC 2 (2 Okt 2024 Pukul 04:49:05)



Gambar 4.27 Rekaman gangguan PHT Rengat-Pangkalan Kerinci 2

Analisis rekaman:

1. Tegangan sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$V = V_{1\text{phase}} \times \sqrt{3} = 90.28 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 156.36 \text{ KV} (1.04 \text{ pu})$$

2. Tegangan pada saat gangguan yang ditunjukkan garis biru :

$$V = V_{1\text{phase}} \times \sqrt{3} = 49.79 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 86.23 \text{ KV} (0.57 \text{ pu})$$

3. Arus sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$I = I_{1\text{phase}} \times 1000 = 0,07 \times 1000 \text{ A} = 70 \text{ A}$$

4. Arus pada saat gangguan :

$$I = I_{\text{phase}} \times 1000 = 1.58 \times 1000 \text{ A} = 1580 \text{ A}$$

5. Terdapat harmonisa ke 2,4,6 > 3% dan THD > 20%
6. Durasi gangguan 60ms dapat diukur menggunakan kursor merah diletakkan diawal gelombang dan gelombang biru diletakkan diakhir gelombang, atau diukur dengan menggunakan rumus :

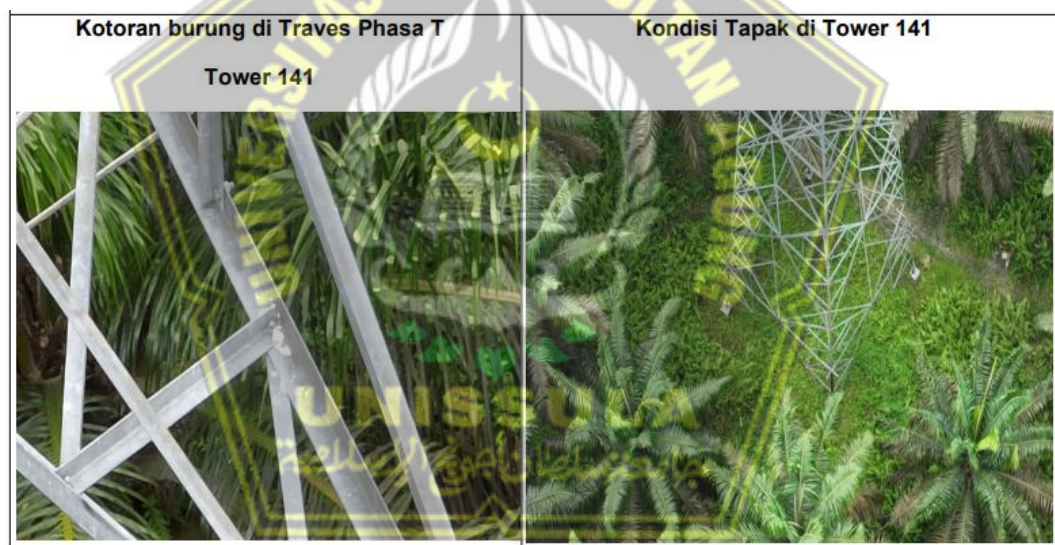
$$T = 1/F = 1/50 \text{ HZ} = 0.02 \text{ S} = 20 \text{ ms} \text{ (1 gelombang penuh = 20 ms)}$$

$$T \text{ gangguan} = 3 \text{ gelombang} \times 20 \text{ ms} = 60 \text{ ms}$$

7. Terdapat arus netral yang muncul ketika terjadi gangguan (IN) sebesar :

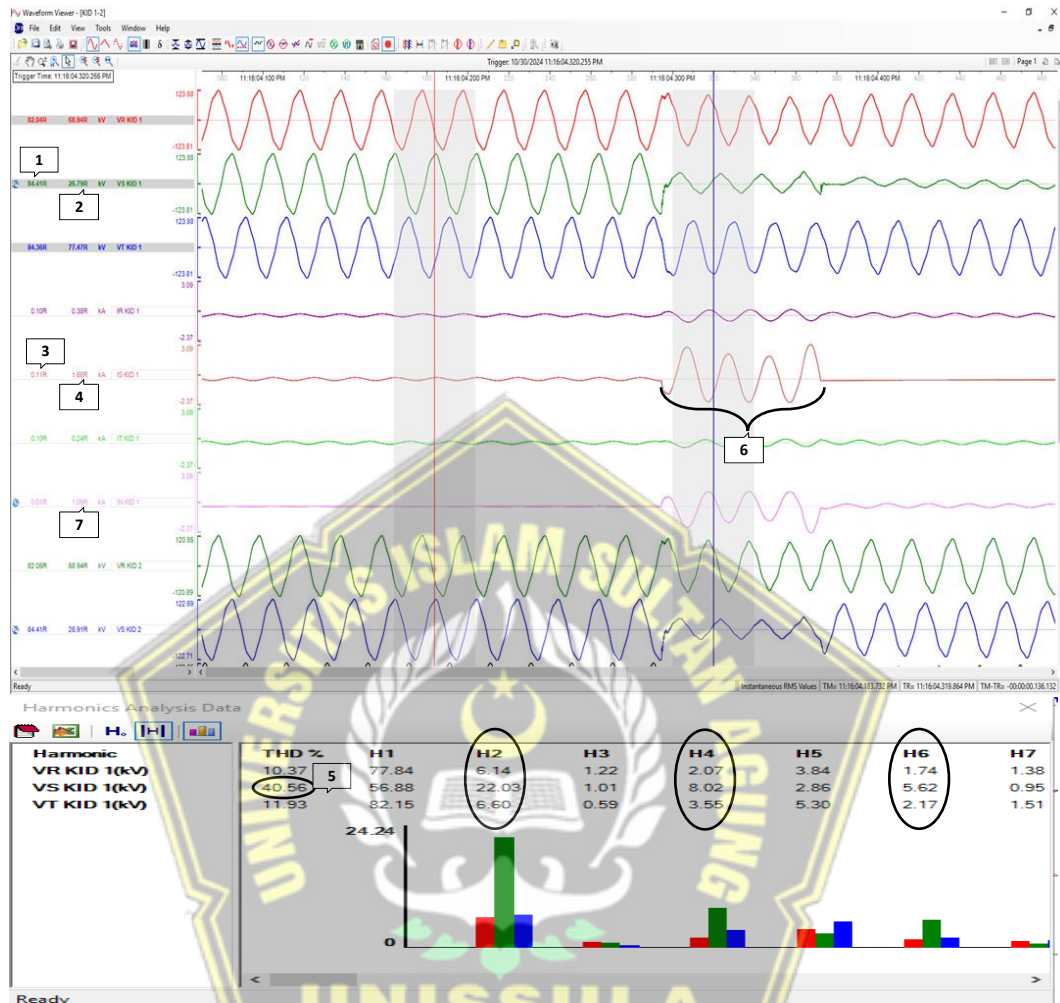
$$I = I_N \times 1000 = 1.70 \times 1000 \text{ A} = 1700 \text{ A}$$

8. Tidak Terdapat aktivitas petir dari rekaman LDS
9. Temuan di lapangan : ditemukan kotoran burung di tower 141



Gambar 4.28 Eviden lapangan gangguan PHT Rengat-Pangkalan Kerinci 2

5. Rekaman DFR Penghantar DUMAI-KID 1 (30 Okt 2024 Pukul 23:16:04)



Gambar 4.29 Rekaman gangguan PHT Dumai-KID 1

Analisis rekaman:

1. Tegangan sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$V = V_{1\text{phase}} \times \sqrt{3} = 84.41 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 146.19 \text{ KV} (0.97 \text{ pu})$$

2. Tegangan pada saat gangguan yang ditunjukkan garis biru :

$$V = V_{1\text{phase}} \times \sqrt{3} = 26.79 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 46.40 \text{ KV} (0.30 \text{ pu})$$

3. Arus sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$I = I_{1\text{phase}} \times 1000 = 0,11 \times 1000 \text{ A} = 110 \text{ A}$$

4. Arus pada saat gangguan :

$$I = I_{1\text{phase}} \times 1000 = 1.68 \times 1000 \text{ A} = 1680 \text{ A}$$

5. Terdapat harmonisa ke 2,4,6 > 3% dan THD > 20%
6. Durasi gangguan 80ms dapat diukur menggunakan cursor merah diletakkan diawal gelombang dan gelombang biru diletakkan diakhir gelombang, atau diukur dengan menggunakan rumus :

$$T = 1/F = 1/50 \text{ HZ} = 0.02 \text{ S} = 20 \text{ ms} \text{ (1 gelombang penuh = 20 ms)}$$

$$T \text{ gangguan} = 4 \text{ gelombang} \times 20 \text{ ms} = 80 \text{ ms}$$

7. Terdapat arus netral yang muncul ketika terjadi gangguan (IN) sebesar :

$$I = I_N \times 1000 = 1.09 \times 1000 \text{ A} = 1090 \text{ A}$$

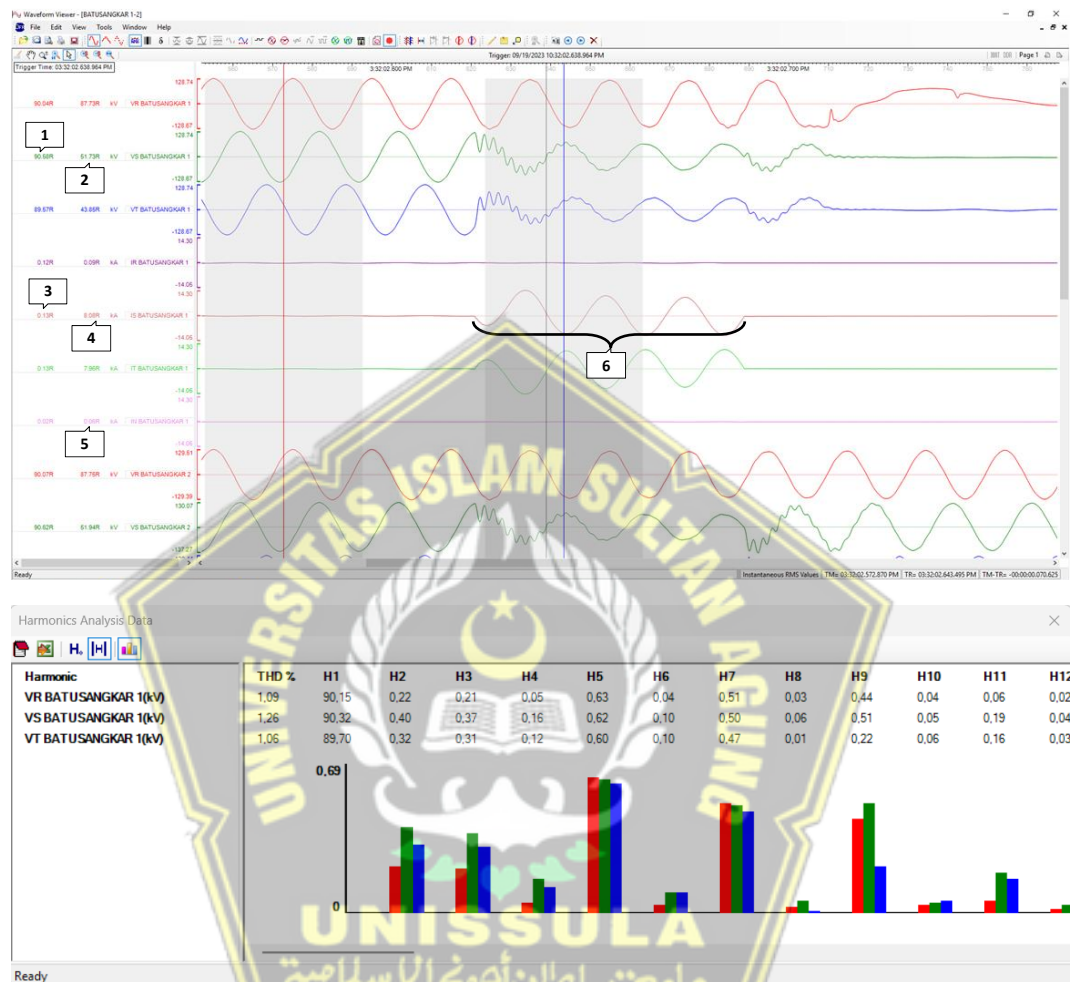
8. Tidak Terdapat aktivitas petir dari rekaman LDS
9. Temuan di lapangan : ditemukan kotoran burung dan yoke gosong



Gambar 4.30 Eviden lapangan gangguan PHT Dumai-KID 1

4.2.4 Analisis gangguan disebabkan oleh obyek terbang

1. Rekaman DFR Penghantar OMBLN - BTSKR 1 (19 Sept 2023 Pukul 22:32:02)



Gambar 4.31 Rekaman gangguan PHT Ombilin-Batusangkar 1

Analisis rekaman:

1. Tegangan sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$V = V_{1\text{phase}} \times \sqrt{3} = 90.58 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 156.88 \text{ KV} (1.04 \text{ pu})$$

2. Tegangan pada saat gangguan yang ditunjukkan garis biru :

$$V = V_{1\text{phase}} \times \sqrt{3} = 51.73 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 89.59 \text{ KV} (0.59 \text{ pu})$$

3. Arus sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$I = I_{1\text{phase}} \times 1000 = 0,13 \times 1000 \text{ A} = 130 \text{ A}$$

4. Arus pada saat gangguan :

$$I = I_{\text{phase}} \times 1000 = 8.06 \times 1000 \text{ A} = 8060 \text{ A}$$

5. Durasi gangguan 70ms dapat diukur menggunakan kursor merah diletakkan diawal gelombang dan gelombang biru diletakkan diakhir gelombang, atau diukur dengan menggunakan rumus :

$$T = 1/F = 1/50 \text{ HZ} = 0.02 \text{ S} = 20 \text{ ms} \text{ (1 gelombang penuh = 20 ms)}$$

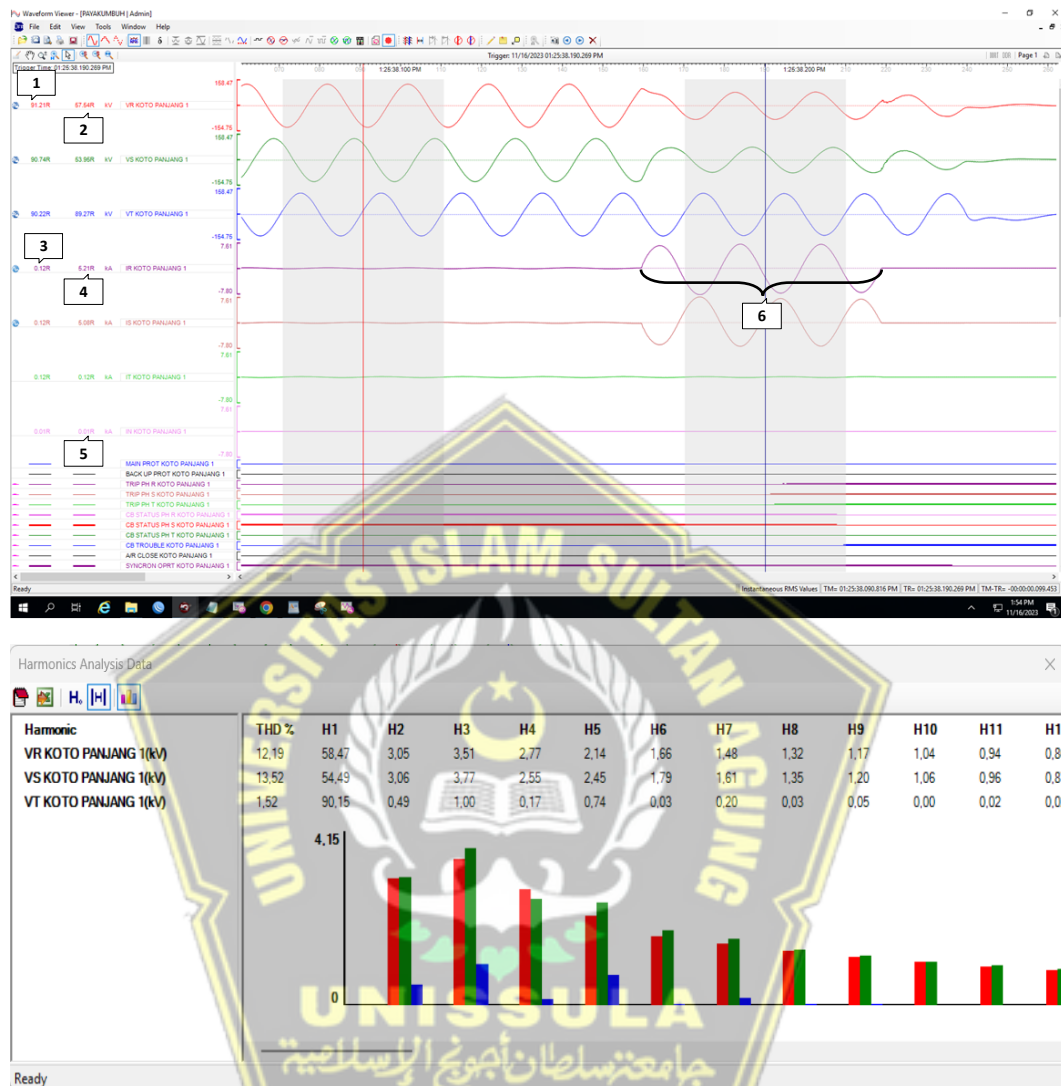
$$T \text{ gangguan} = 3.5 \text{ gelombang} \times 20 \text{ ms} = 70 \text{ ms}$$

6. Tidak terdapat arus netral yang muncul ketika terjadi gangguan (IN)
 7. Tidak Terdapat aktivitas petir dari rekaman LDS
 8. Temuan di lapangan : ditemukan layang- layang di jumperan fasa S



Gambar 4.32 Eviden lapangan gangguan PHT Ombilin-Batusangkar 1

2. Rekaman DFR Penghantar PYBUH - KTPJG 1 (16 Nov 2023 Pukul 13:25:38)



Gambar 4.33 Rekaman gangguan PHT Payakumbuh-Koto Panjang 1

Analisis rekaman:

1. Tegangan sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$V = V_{1\text{phase}} \times \sqrt{3} = 91.21 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 157.97 \text{ KV} (1.05 \text{ pu})$$

2. Tegangan pada saat gangguan yang ditunjukkan garis biru :

$$V = V_{1\text{phase}} \times \sqrt{3} = 57.54 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 99.65 \text{ KV} (0.66 \text{ pu})$$

3. Arus sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$I = I_{1\text{phase}} \times 1000 = 0,12 \times 1000 \text{ A} = 120 \text{ A}$$

4. Arus pada saat gangguan :

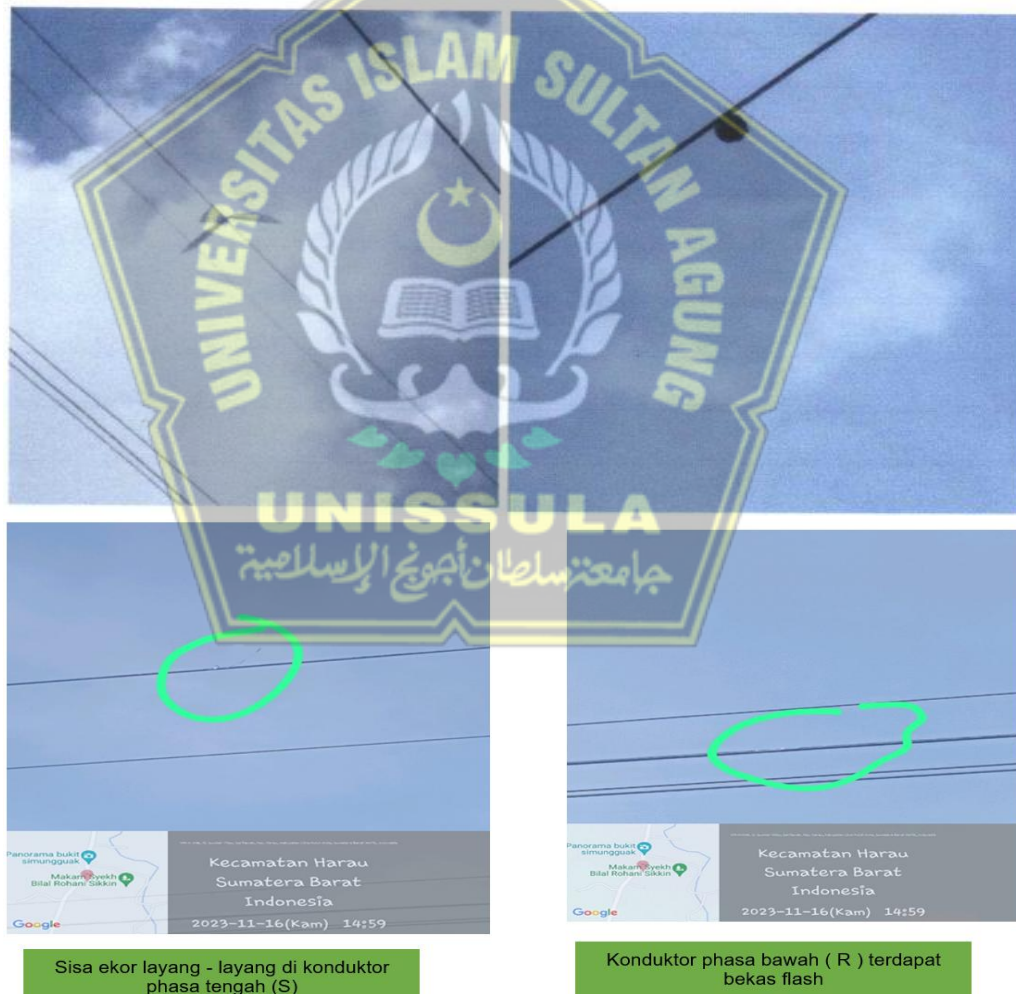
$$I = I_{\text{phase}} \times 1000 = 5.21 \times 1000 \text{ A} = 5210 \text{ A}$$

5. Durasi gangguan 60ms dapat diukur menggunakan kursor merah diletakkan diawal gelombang dan gelombang biru diletakkan diakhir gelombang, atau diukur dengan menggunakan rumus :

$$T = 1/F = 1/50 \text{ HZ} = 0.02 \text{ S} = 20 \text{ ms} \text{ (1 gelombang penuh = 20 ms)}$$

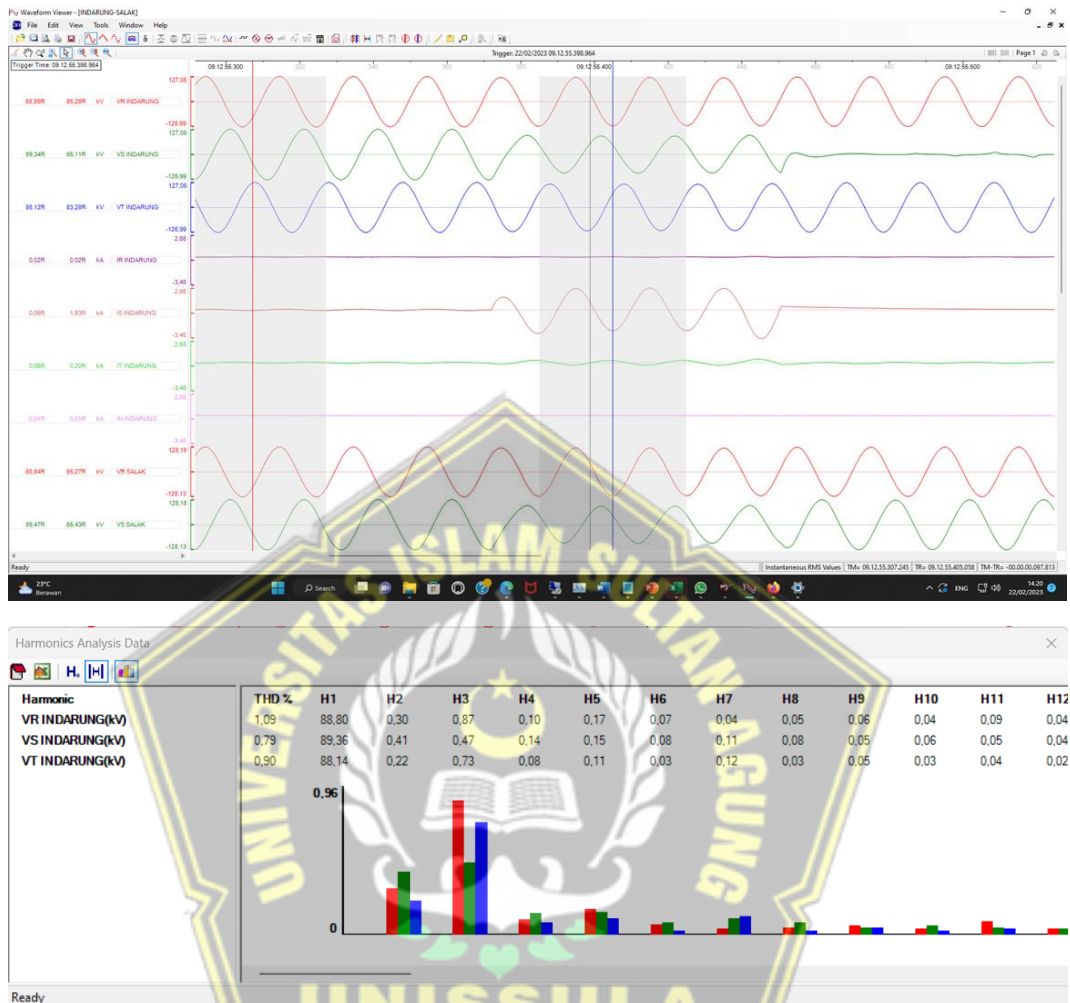
$$T \text{ gangguan} = 3 \text{ gelombang} \times 20 \text{ ms} = 60 \text{ ms}$$

6. Tidak terdapat arus netral yang muncul ketika terjadi gangguan (IN)
 7. Tidak Terdapat aktivitas petir dari rekaman LDS
 8. Temuan di lapangan : ditemukan layang layang di tower 198



Gambar 4.34 Eviden lapangan gangguan PHT Payakumbuh-Koto Panjang 1

3. Rekaman DFR Penghantar OMBLN – INDRG (23 Mar 2025 pukul 09:12:55)



Gambar 4.35 Rekaman gangguan PHT Ombilin-Indarung

Analisis rekaman:

1. Tegangan sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$V = V_{1\text{phase}} \times \sqrt{3} = 91.21 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 157.97 \text{ KV} (1.05 \text{ pu})$$

2. Tegangan pada saat gangguan yang ditunjukkan garis biru :

$$V = V_{1\text{phase}} \times \sqrt{3} = 51.73 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 89.59 \text{ KV} (0.59 \text{ pu})$$

3. Arus sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$I = I_{1\text{phase}} \times 1000 = 0,12 \times 1000 \text{ A} = 120 \text{ A}$$

4. Arus pada saat gangguan :

$$I = I_{1\text{phase}} \times 1000 = 5.21 \times 1000 \text{ A} = 5210 \text{ A}$$

5. Durasi gangguan 60ms dapat diukur menggunakan kursor merah diletakkan diawal gelombang dan gelombang biru diletakkan diakhir gelombang, atau diukur dengan menggunakan rumus :

$$T = 1/F = 1/50 \text{ HZ} = 0.02 \text{ S} = 20 \text{ ms} \text{ (1 gelombang penuh = 20 ms)}$$

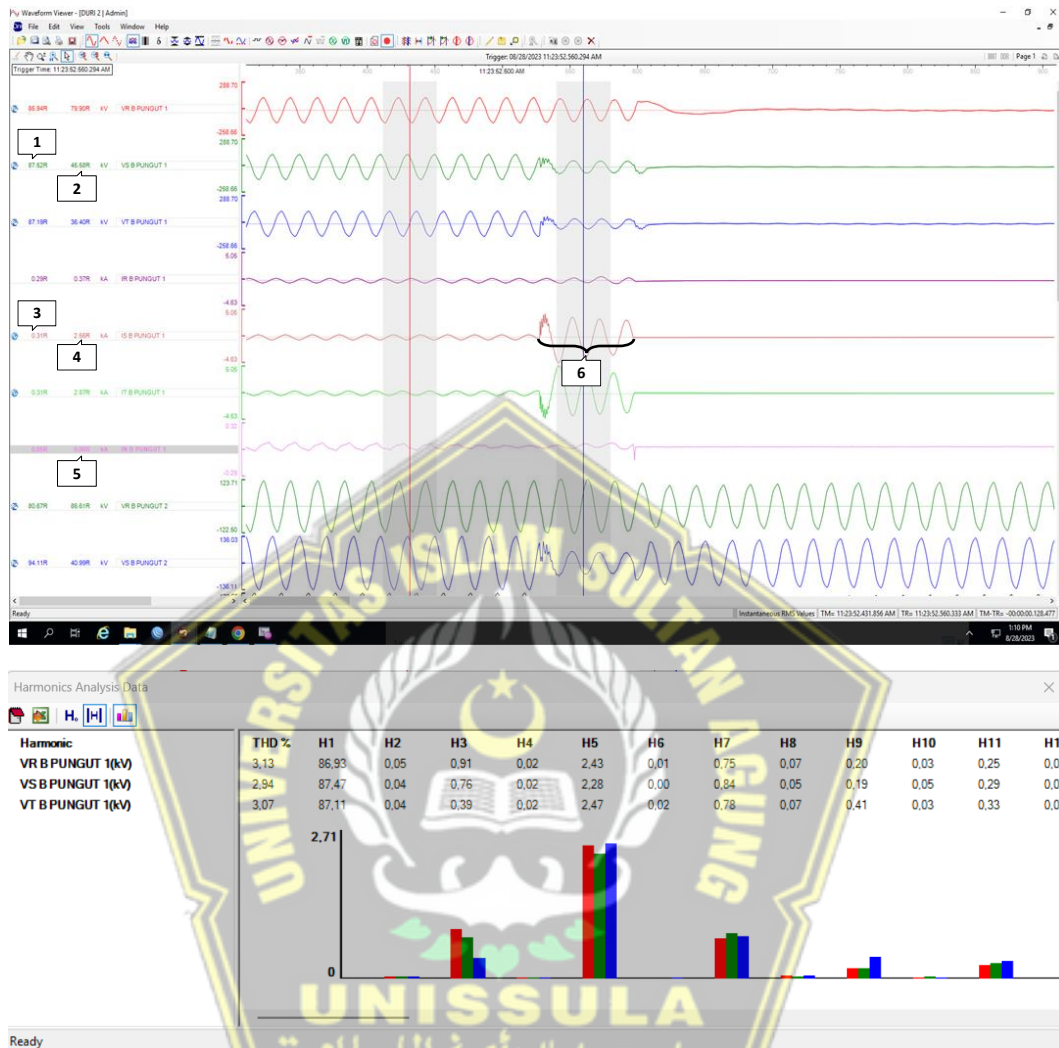
$$T \text{ gangguan} = 3 \text{ gelombang} \times 20 \text{ ms} = 60 \text{ ms}$$

6. Tidak terdapat arus netral yang muncul ketika terjadi gangguan (IN)
 7. Tidak Terdapat aktivitas petir dari rekaman LDS
 8. Temuan di lapangan : ditemukan ranting pohon di tower 144



Gambar 4.36 Eviden lapangan gangguan PHT Ombilin-Indarung

4. Rekaman DFR Penghantar DURI - BLPGT 1 (28 Agu 2023 Pukul 11:23:52)



Gambar 4.37 Rekaman gangguan PHT Duri-Balai Pungut 1

Analisis rekaman:

1. Tegangan sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$V = V_{1\text{phasa}} \times \sqrt{3} = 87.52 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 151.58 \text{ KV (1.01 pu)}$$

2. Tegangan pada saat gangguan yang ditunjukkan garis biru :

$$V = V_{1\text{phasa}} \times \sqrt{3} = 45.58 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 78.94 \text{ KV (0.52 pu)}$$

3. Arus sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$I = I_{1\text{phase}} \times 1000 = 0,31 \times 1000 \text{ A} = 310 \text{ A}$$

4. Arus pada saat gangguan :

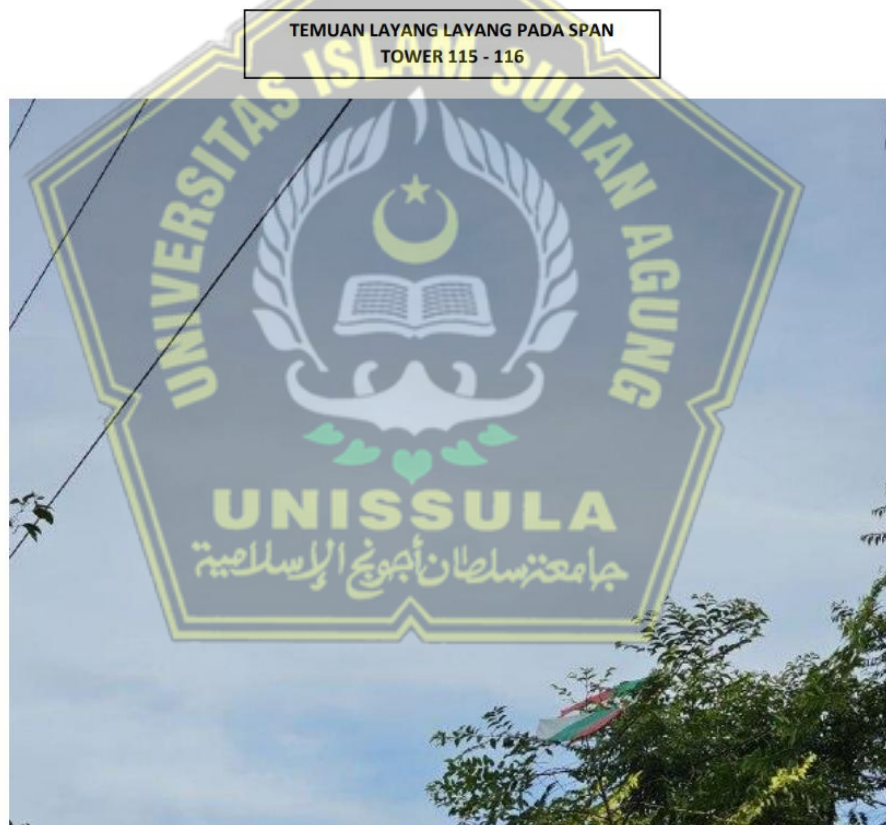
$$I = I_{\text{phase}} \times 1000 = 2.56 \times 1000 \text{ A} = 2560 \text{ A}$$

5. Durasi gangguan 70ms dapat diukur menggunakan kursor merah diletakkan diawal gelombang dan gelombang biru diletakkan diakhir gelombang, atau diukur dengan menggunakan rumus :

$$T = 1/F = 1/50 \text{ HZ} = 0.02 \text{ S} = 20 \text{ ms} \text{ (1 gelombang penuh = 20 ms)}$$

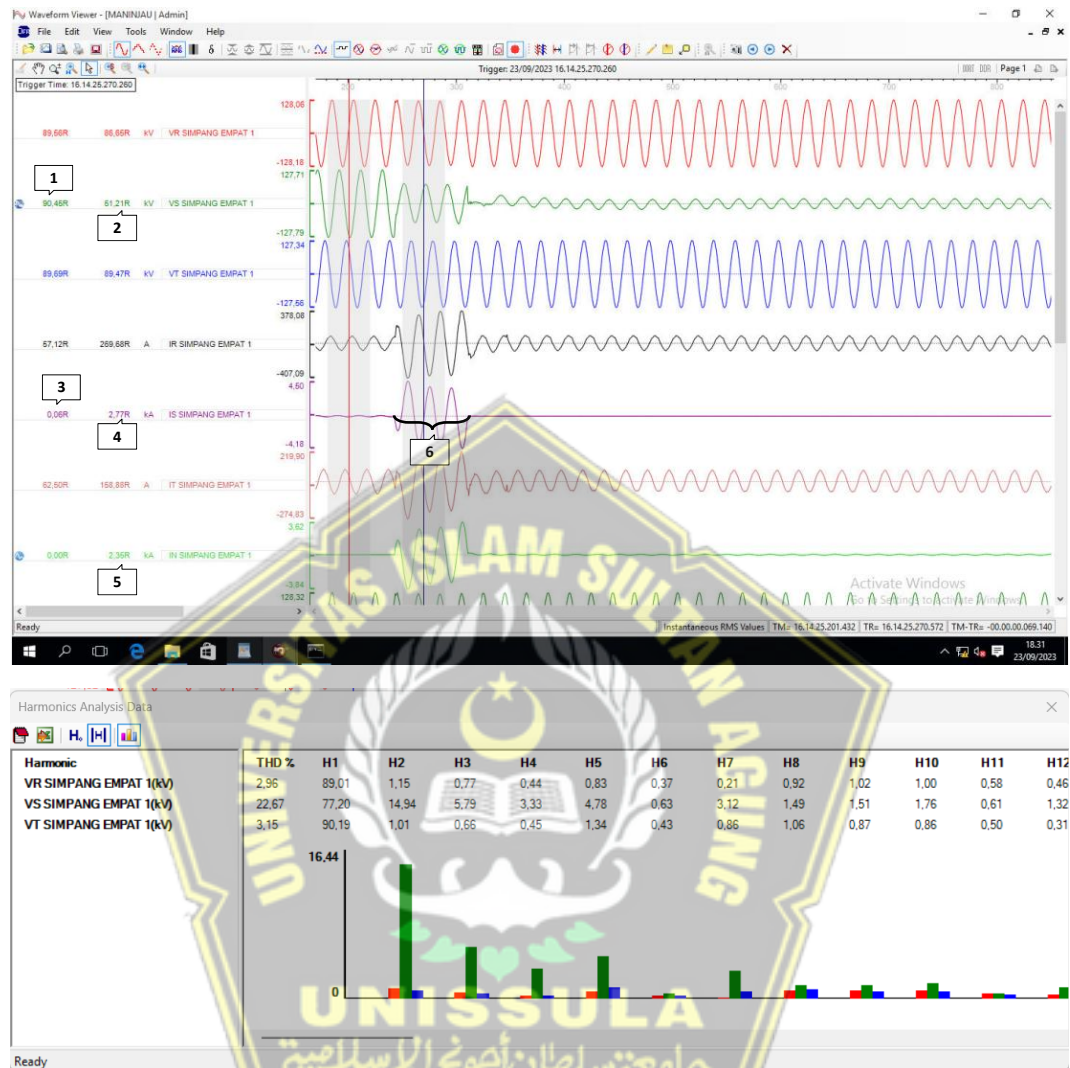
$$T \text{ gangguan} = 3.5 \text{ gelombang} \times 20 \text{ ms} = 70 \text{ ms}$$

6. Tidak terdapat arus netral yang muncul ketika terjadi gangguan (IN)
 7. Tidak Terdapat aktivitas petir dari rekaman LDS
 8. Temuan di lapangan : ditemukan layang layang di span tower 115-116



Gambar 4.38 Eviden lapangan gangguan PHT Duri-Balai Pungut 1

5. Rekaman DFR Penghantar MNJAU - SMPAT 1 (23 Sept 2023 Pukul 11:23:52)



Gambar 4.39 Rekaman gangguan PHT Maninjau-Simpang Empat

Analisis rekaman:

1. Tegangan sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$V = V_{1\text{phase}} \times \sqrt{3} = 90.46 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 156.58 \text{ KV} (1.04 \text{ pu})$$

2. Tegangan pada saat gangguan yang ditunjukkan garis biru :

$$V = V_{1\text{phase}} \times \sqrt{3} = 51.21 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 88.69 \text{ KV} (0.59 \text{ pu})$$

3. Arus sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$I = I_{1\text{phase}} \times 1000 = 0,06 \times 1000 \text{ A} = 60 \text{ A}$$

4. Arus pada saat gangguan :

$$I = I_{\text{phase}} \times 1000 = 2.77 \times 1000 \text{ A} = 2770 \text{ A}$$

5. Durasi gangguan 70ms dapat diukur menggunakan kursor merah diletakkan diawal gelombang dan gelombang biru diletakkan diakhir gelombang, atau diukur dengan menggunakan rumus :

$$T = 1/F = 1/50 \text{ HZ} = 0.02 \text{ S} = 20 \text{ ms} \text{ (1 gelombang penuh = 20 ms)}$$

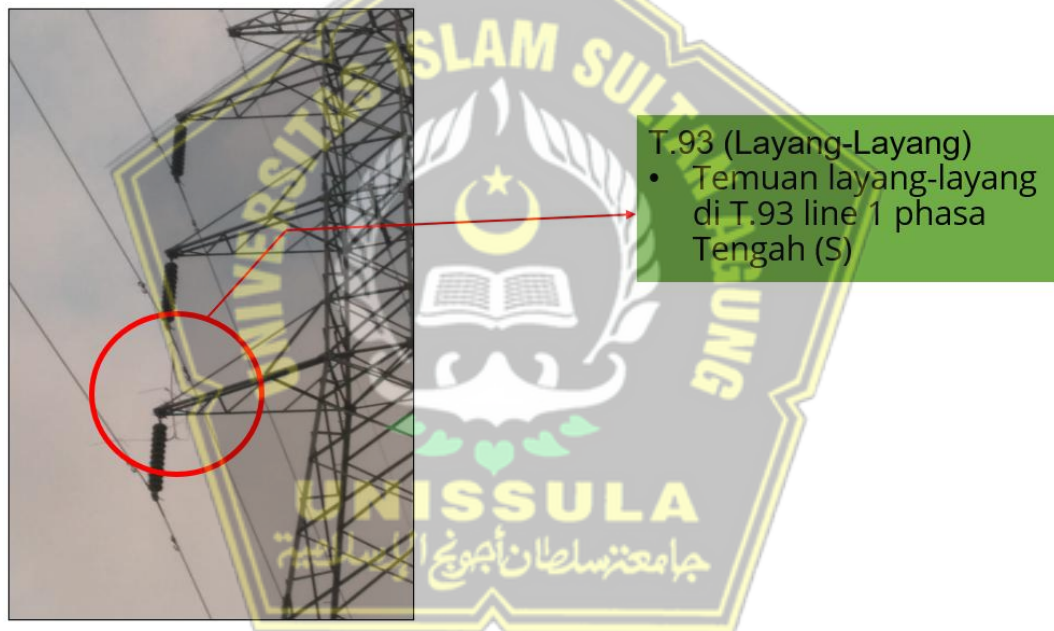
$$T \text{ gangguan} = 3.5 \text{ gelombang} \times 20 \text{ ms} = 70 \text{ ms}$$

6. Terdapat arus netral yang muncul ketika terjadi gangguan (IN) sebesar :

$$I = I_N \times 1000 = 2.35 \times 1000 \text{ A} = 2350 \text{ A}$$

7. Tidak Terdapat aktivitas petir dari rekaman LDS

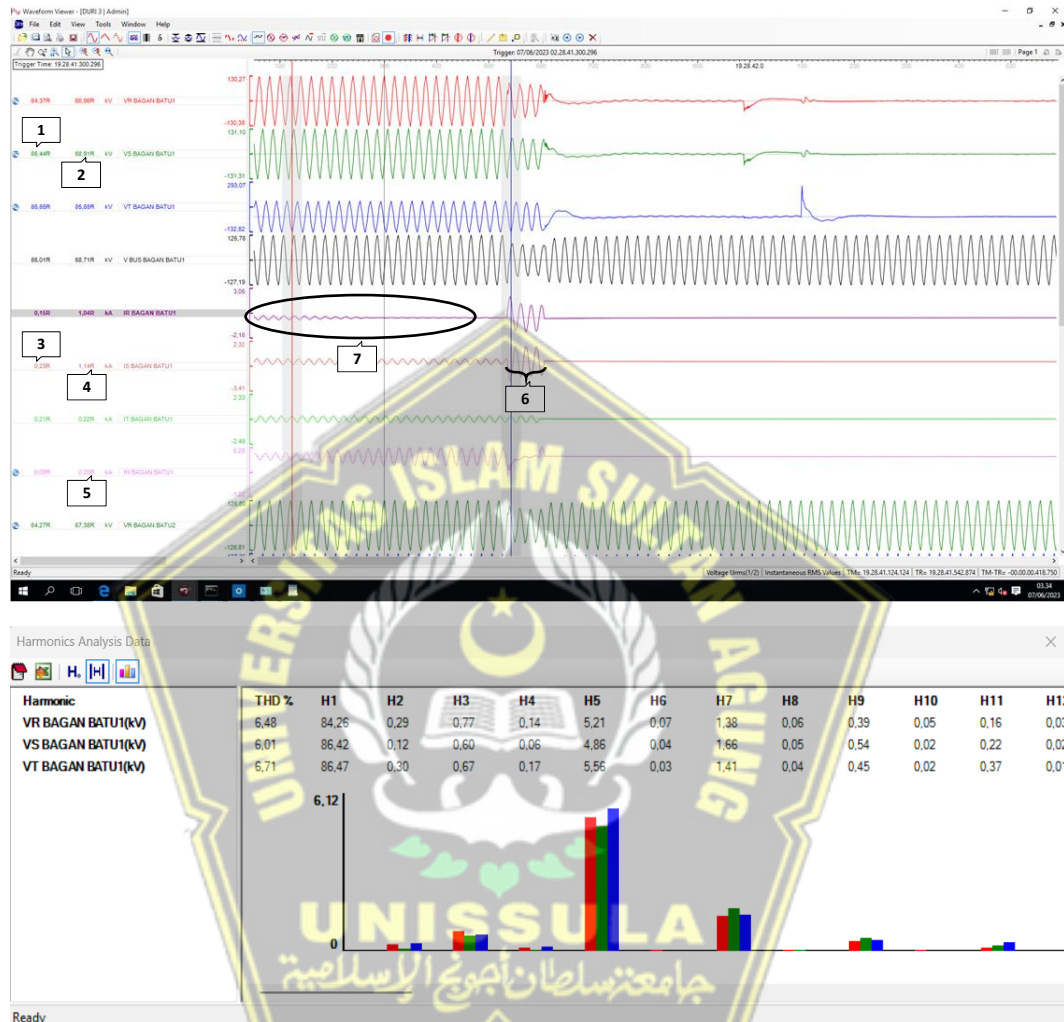
8. Temuan di lapangan : ditemukan layang layang di tower 93 fasa S



Gambar 4.40 Eviden lapangan gangguan PHT Maninjau-Simpang Empat

4.2.5 Analisis gangguan disebabkan oleh konduktor putus

1. Rekaman DFR Penghantar DURI - BBATU 1 (7 Jun 2023 Pukul 02:28:41)



Gambar 4.41 Rekaman gangguan PHT Duri-Bagan Batu 1

Analisis rekaman:

1. Tegangan sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$V = V_{1\text{phase}} \times \sqrt{3} = 86.44 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 149.71 \text{ KV} (0.99 \text{ pu})$$

2. Tegangan pada saat gangguan yang ditunjukkan garis biru :

$$V = V_{1\text{phase}} \times \sqrt{3} = 51.21 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 88.69 \text{ KV} (0.59 \text{ pu})$$

3. Arus sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$I = I_{1\text{phase}} \times 1000 = 0,23 \times 1000 \text{ A} = 230 \text{ A}$$

4. Arus pada saat gangguan :

$$I = I_{\text{phase}} \times 1000 = 1.14 \times 1000 \text{ A} = 1440 \text{ A}$$

5. Durasi gangguan 70ms dapat diukur menggunakan kursor merah diletakkan diawal gelombang dan gelombang biru diletakkan diakhir gelombang, atau diukur dengan menggunakan rumus :

$$T = 1/F = 1/50 \text{ HZ} = 0.02 \text{ S} = 20 \text{ ms} \text{ (1 gelombang penuh = 20 ms)}$$

$$T \text{ gangguan} = 3.5 \text{ gelombang} \times 20 \text{ ms} = 70 \text{ ms}$$

6. Terdapat arus netral yang muncul ketika terjadi gangguan (IN) sebesar :

$$I = I_N \times 1000 = 2.35 \times 1000 \text{ A} = 2350 \text{ A}$$

7. Terdapat penurunan arus menuju ke nol pada konduktor fasa yang putus

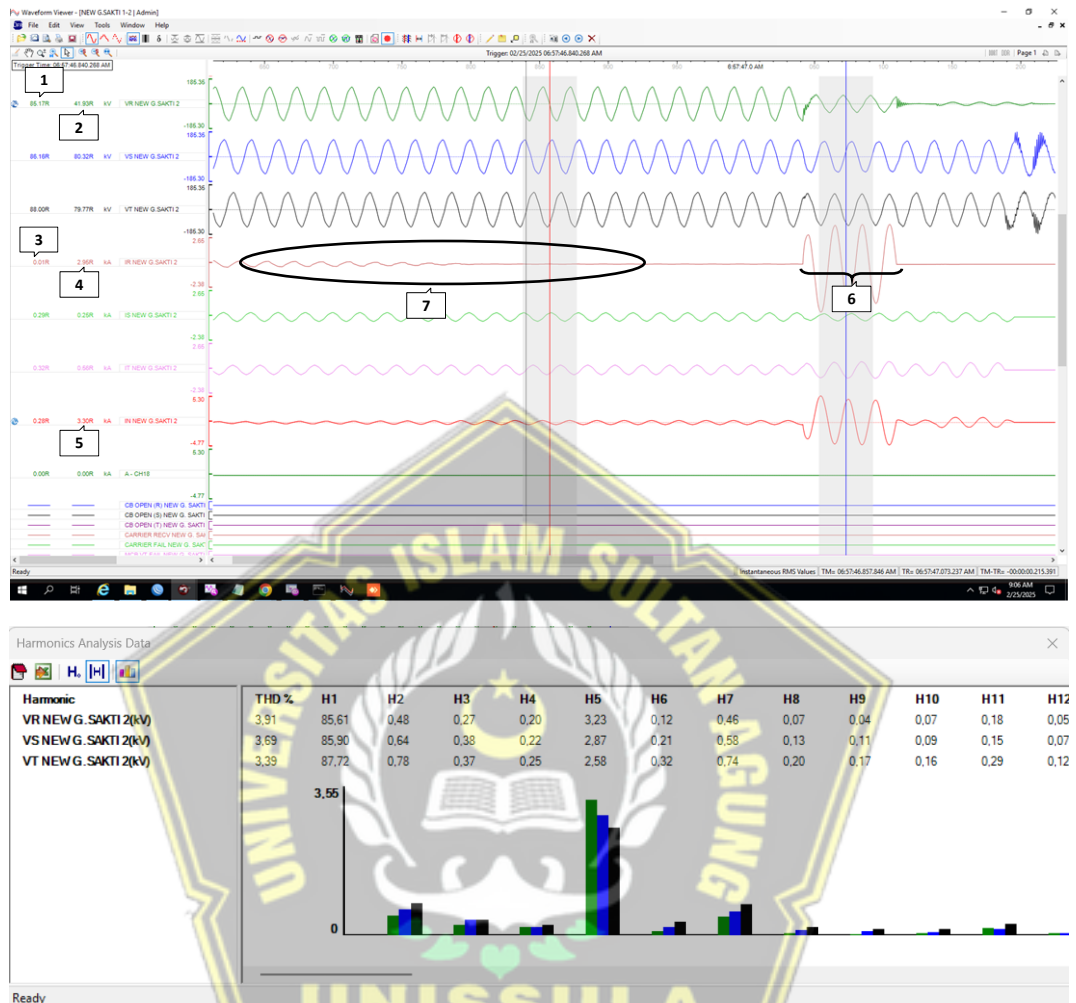
8. Tidak Terdapat aktivitas petir dari rekaman LDS

9. Temuan di lapangan : ditemukan konduktor putus fasa S putus tower 246-247



Gambar 4.42 Eviden lapangan gangguan PHT Duri-Bagan Batu 1

2. Rekaman DFR Penghantar BLPGT-NGDSK 2 (25 Feb 2025 Pukul 06:57:46)



Gambar 4.43 Rekaman gangguan PHT Balai Pungut-New Garuda Sakti 2

Analisis rekaman:

1. Tegangan sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$V = V_{1\text{phase}} \times \sqrt{3} = 85.17 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 147.51 \text{ KV} (0.98 \text{ pu})$$

2. Tegangan pada saat gangguan yang ditunjukkan garis biru :

$$V = V_{1\text{phase}} \times \sqrt{3} = 41.93 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 72.62 \text{ KV} (0.48 \text{ pu})$$

3. Arus sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$I = I_{1\text{phase}} \times 1000 = 0.29 \times 1000 \text{ A} = 290 \text{ A}$$

4. Arus pada saat gangguan :

$$I = I_{1\text{phase}} \times 1000 = 2.95 \times 1000 \text{ A} = 2950 \text{ A}$$

5. Durasi gangguan 70ms dapat diukur menggunakan kursor merah diletakkan diawal gelombang dan gelombang biru diletakkan diakhir gelombang, atau diukur dengan menggunakan rumus :

$$T = 1/F = 1/50 \text{ HZ} = 0.02 \text{ S} = 20 \text{ ms} \text{ (1 gelombang penuh = 20 ms)}$$

$$T \text{ gangguan} = 3.5 \text{ gelombang} \times 20 \text{ ms} = 70 \text{ ms}$$

6. Terdapat arus netral yang muncul ketika terjadi gangguan (IN) sebesar :

$$I = I_N \times 1000 = 3.30 \times 1000 \text{ A} = 3300 \text{ A}$$

7. Terdapat penurunan arus menuju ke nol pada konduktor fasa yang putus

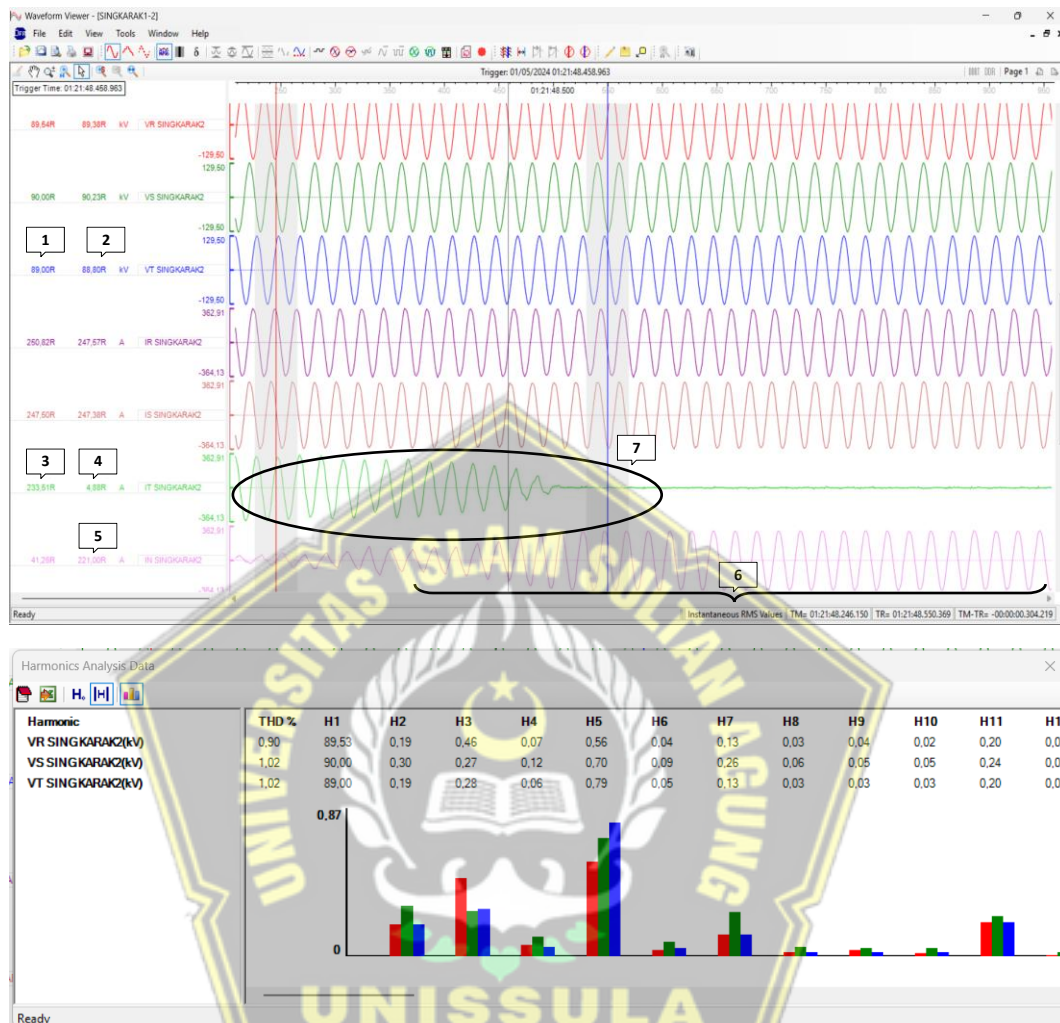
8. Tidak Terdapat aktivitas petir dari rekaman LDS

9. Temuan di lapangan : ditemukan konduktor putus di span tower 176-177



Gambar 4.44 gangguan PHT Balai Pungut-New Garuda Sakti 2

2. Rekaman DFR Penghantar SNKRK-LBALG 2 (5 Jan 2024 Pukul 01:21:55)



Gambar 4.45 Rekaman gangguan PHT Singkarak-Lubuk Alung 2

Analisis rekaman:

1. Tegangan sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$V = V_{1\text{phasa}} \times \sqrt{3} = 89.00 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 154.14 \text{ KV (1.02 pu)}$$

2. Tegangan pada saat gangguan yang ditunjukkan garis biru :

$$V = V_{1\text{phasa}} \times \sqrt{3} = 88.80 \text{ KV} \times \sqrt{3} = 153.80 \text{ KV (1.02 pu)}$$

3. Arus sebelum gangguan yang ditunjukkan garis merah :

$$I = I_{1\text{phase}} \times 1000 = 0,233 \times 1000 \text{ A} = 233 \text{ A}$$

4. Arus pada saat gangguan :

$$I = I_{1\text{phase}} \times 1000 = 0,004 \times 1000 \text{ A} = 4 \text{ A}$$

5. Durasi gangguan 602ms dapat diukur menggunakan kursor merah diletakkan diawal gelombang dan gelombang biru diletakkan diakhir gelombang, atau diukur dengan menggunakan rumus :

$$T = 1/F = 1/50 \text{ HZ} = 0.02 \text{ S} = 20 \text{ ms} \text{ (1 gelombang penuh = 20 ms)}$$

$$T \text{ gangguan} = 30 \text{ gelombang} \times 20 \text{ ms} = 600 \text{ ms}$$

6. Terdapat arus netral yang muncul ketika terjadi gangguan (IN) sebesar :

$$I = I_N \times 1000 = 0.221 \times 1000 \text{ A} = 221 \text{ A}$$

7. Terdapat penurunan arus menuju ke nol pada konduktor fasa yang putus

8. Tidak Terdapat aktivitas petir dari rekaman LDS

9. Temuan di lapangan : ditemukan Jumper Konduktor Putus Fasa Bawah T.17



Gambar 4.46 Eviden lapangan gangguan PHT Singkarak-Lubuk Alung 2

4.3 Rangkuman Analisis Rekaman DFR

Dari hasil analisis semua sampel data rekaman gangguan maka dapat dirangkum untuk masing masing jenis penyebab gangguan, antara lain :

4.3.1. Gangguan yang disebabkan oleh petir

1. Dari semua sampel data, terdapat rekaman aktivitas petir dari LDS
2. Dari semua sampel data, semua terdapat ciri-ciri cacat pada ketiga fasa pada saat gangguan
3. Dari semua sampel data, durasi gangguan petir adalah 60-80 ms
4. Dari sampel data, tegangan pada saat gangguan mengalami *drop* < 0.5 p.u.
5. Dari sampel data, semua sampel muncul arus netral pada saat gangguan
6. Tidak ada keteraturan arus gangguan pada fasa yang terganggu

4.3.2. Gangguan yang disebabkan oleh pohon

1. Dari semua sampel data yang dianalisis, tidak terdapat rekaman aktivitas petir pada LDS
2. Dari semua sampel data, *drop* tegangan pada saat gangguan berturut turut : $0.70 - 0.72 - 0.63 - 0.98 - 0.7$ p.u. atau > 0.6 p.u.
3. Dari semua sampel data terdapat arus netral yang muncul sebelum gangguan (*prefault*) dan saat terjadi gangguan, durasi arus netralnya berturut turut 830 – 170 – 290 – 420 – 120 ms, atau > 120 ms.
4. Tidak ada keteraturan arus gangguan pada fasa yang terganggu

4.3.3. Gangguan yang disebabkan oleh hewan

1. Dari semua sampel data, tidak terdapat rekaman aktivitas petir pada LDS
2. Dari semua sampel data, *drop* tegangan pada saat terjadinya gangguan berturut turut : $0.57 - 0.78 - 0.78 - 0.57 - 0.30$ p.u atau tidak ada keteraturan dari variabel *drop* tegangan
3. Dari semua sampel data, pada *harmonic* analisis ditemukan terdapat harmonisa genap ke-2, 4, dan 6 $> 3\%$ dan *total harmonic distortion* (THD)nya $> 20\%$

4. Dari semua sampel data terdapat arus netral yang muncul saat terjadi gangguan, durasi arus netralnya sama dengan durasi gangguan berturut turut 70 – 50 – 70 – 60 – 80 ms, atau <80 ms
5. Dari semua sampel data, gangguan yang terjadi semuanya adalah gangguan 1 Fasa – Tanah

4.3.4. Gangguan yang disebabkan oleh obyek terbang

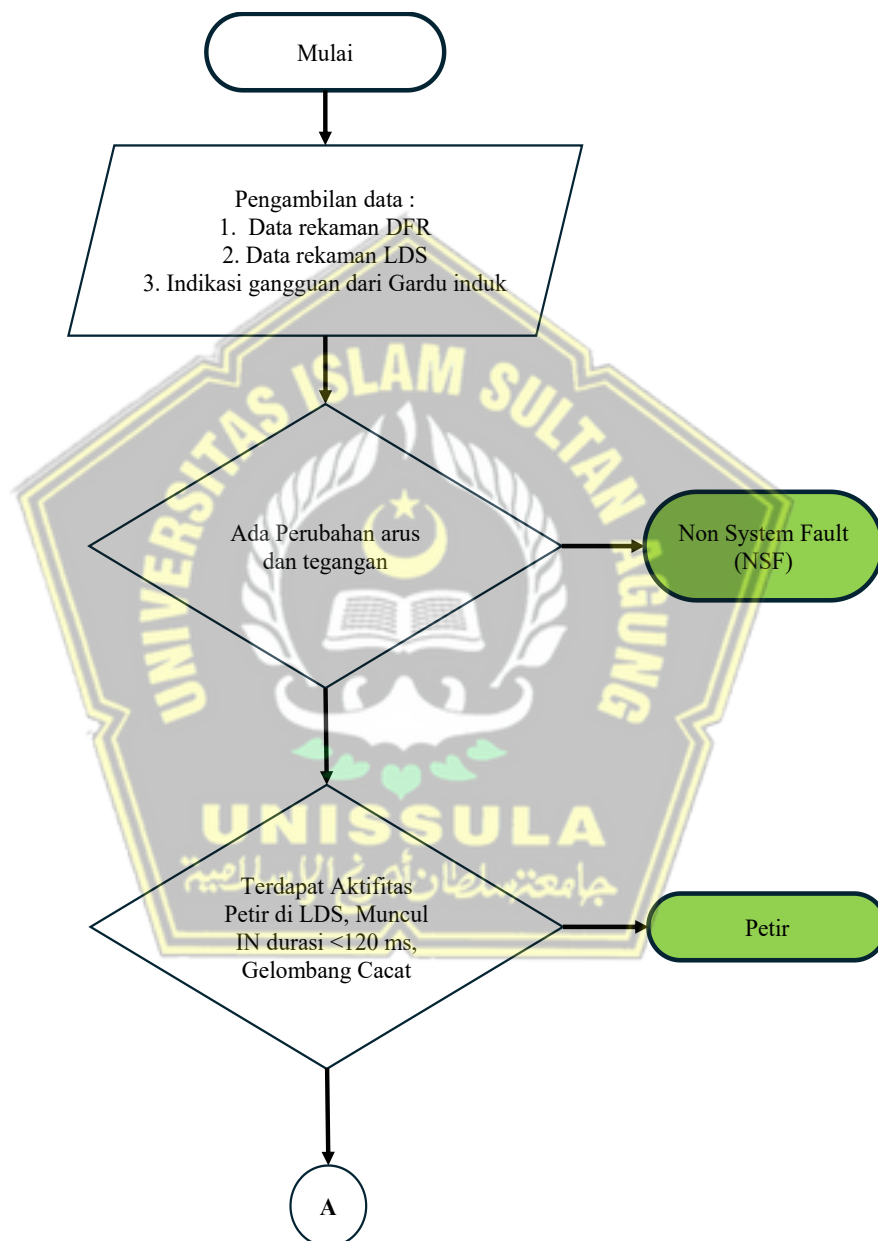
1. Dari semua sampel data, tidak terdapat rekaman aktivitas petir pada LDS
2. Dari semua sampel data, *drop* tegangan pada saat terjadinya gangguan berturut turut : 0.59 – 0.66 – 0.59 – 0.52 – 0.59 p.u
3. Dari semua sampel data, durasi gangguan berturut turut : 70 – 60 – 60 – 70 – 70 ms atau <80 ms
4. Dari semua sampel data, tidak terdapat arus netral (IN) pada saat terjadinya gangguan
5. Dari semua sampel data, gangguan yang terjadi semuanya adalah gangguan Fasa ke Fasa

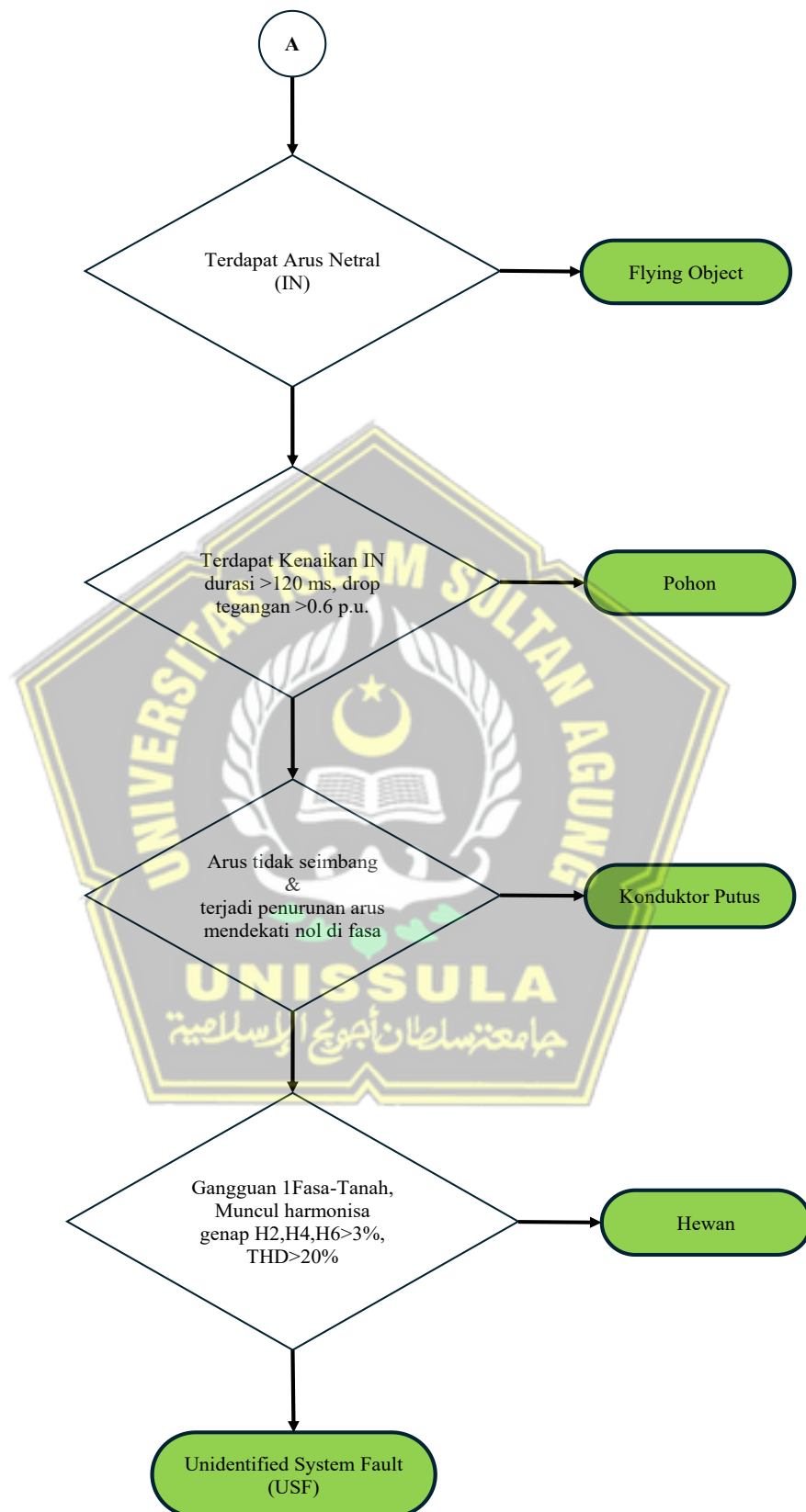
4.3.5. Gangguan yang disebabkan karena konduktor putus

1. Dari dua sampel data, tidak terdapat rekaman aktivitas petir pada LDS
2. Dari dua sampel data, drop tegangan pada saat terjadinya gangguan berturut-turut 0.59 – 0.48
3. Dari dua sampel data, durasi gangguan berturut turut 70 – 70 ms
4. Dari dua sampel data, terdapat arus netral (IN) pada saat terjadinya gangguan
5. Dari dua sampel data, Terdapat penurunan arus menuju ke nol pada konduktor fasa yang putus

4.4 Flowchart analisis DFR

Dari hasil analisis sampel data yang telah dilakukan maka variabel variabel kemudian dimasukkan kedalam flowchart berikut :





Gambar 4.47 Diagram Alir Analisis Gangguan Transmisi

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa rekaman gangguan berbasis DFR yang didukung dengan peralatan perekam lain seperti LDS dan dikuatkan dengan data temuan penyebab gangguan di lapangan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan :

1. Setiap gangguan yang disebabkan oleh satu jenis penyebab, menunjukkan pola gelombang dan karakteristik serupa pada kelima sampel, sehingga dapat dijadikan dasar dalam pengembangan tools analisis gangguan transmisi .
2. Gangguan yang disebabkan karena petir menjadi sangat mudah dianalisis karena sudah terdapat aplikasi pendeteksi aktifitas petir yang sangat akurat yaitu *Lightning Detection System* (LDS).
3. Hasil analisis menunjukkan bahwa setiap jenis penyebab gangguan memiliki karakteristik yang khas, sehingga memungkinkan untuk dikembangkan sebuah alat bantu analisis gangguan berupa urutan langkah-langkah analisis yang disajikan dalam bentuk diagram alir (*flowchart*).

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian ini maka dapat disampaikan beberapa saran :

1. Agar pelaku operasi sistem yaitu *dispatcher* menggunakan alat bantu analisis gangguan ini dalam setiap kejadian gangguan transmisi, sehingga proses identifikasi penyebab gangguan dapat dilakukan secara lebih cepat dan tepat.
2. Agar metode analisis gangguan berbasis DFR senantiasa dievaluasi dan dikembangkan, sehingga dapat memberikan identifikasi penyebab gangguan transmisi secara lebih detail dan akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Zin Abdullah Asuhaimi Mohd, Karim Sazali P. Abdul, “*The Application of Fault Signature Analysis in Tenaga Nasional Berhad Malaysia*”, IEEE *Transaction On Power Delivery*, Vol.22, No.4, 2007.
- [2] Saputra, Canra Andi, “Analisis Gangguan Sistem Transmisi Menggunakan Alat DFR dan Menentukan Titik Lokasi Gangguan Melalui Perbandingan Alat Pelacak Berbasis TWS”, Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro. Palembang: Universitas Sriwijaya, 2020.
- [3] Rosdianto, Fajar, “Analisis Data *Digital Fault Recorder* (DFR) Sebagai Alat Bantu Penentuan Jenis Penyebab dan Lokasi Gangguan Pada Gangguan Saluran Udara Tegangan Tinggi Satu Fasa ke Tanah”, Jurnal Teknologi Elektro, Universitas Muhammadiyah Semarang, 2017.
- [4] Abriyanto, Hanung Yoba, Batih, Hakimul, “Analisis Efektifitas Pemasangan Proteksi Petir Berdasarkan Tingkat Ancaman Sambaran Petir Cloud to Ground di Titik Tower Transmisi Air Anyir – Pangkalpinang”, Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro, Institut Teknologi PLN Jakarta, Vol 17, No.3, September 2023.
- [5] G. F. Reed, M. Takeda, T. E. Mielke, and M. J. Duffy, “Harmonic behavior during arcing faults on power distribution feeders,” IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 20, no. 3, pp. 2041–2047, Jul. 2005
- [6] J. J. Grainger and W. D. Stevenson, *Power System Analysis*. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 1994.
- [7] SPLN T5.014-1:2021 – Desain Saluran Udara Tegangan Tinggi dan Ekstra Tinggi, PT PLN (Persero).
- [8] SPLN D3.003:1998 – Standar Kabel Tanah Tegangan Menengah,
- [9] SPLN D3.006:1991 – Spesifikasi Kabel Bawah Laut untuk Sistem Tenaga Listrik.
- [10] Evaluasi Operasi Tahunan Unit Pusat Penyaluran dan Pengatur Beban Sumatera tahun 2024