

SKRIPSI

**ANALISA PENINGKATAN KEANDALAN KAWASAN
INDUSTRI MAKASSAR (KIMA) DENGAN KONSEP DESAIN
JARINGAN ZERO DOWN TIME(ZDT)**



DISUSUN OLEH :

MUH.AHSAN ZAMZAMI

SAFRI

K 105 82 11130 16

10582 1365 14

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
2019**

**ANALISA PENINGKATAN KEANDALAN KAWASAN
INDUSTRI MAKASSAR (KIMA) DENGAN KONSEP DESAIN
JARINGAN ZERO DOWN TIME(ZDT)**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat
Untuk Memperoleh gelar Sarjana Teknik
Program Studi Teknik Elektro
Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik

Disusun dan diajukan oleh

MUH.AHSAN ZAMZAMI

K 105 82 11130 16

SAFRI

10582 1365 14

PADA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
MAKASSAR
2019



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website: www.unismuh.ac.id, e_mail: unismuh@gmail.com

Website: <http://teknik.unismuh.makassar.ac.id>



HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : **ANALISA PENINGKATAN KENDALA KAWASAN INDUSTRI MAKASSAR (KIMA) DENGAN KONSEP DESAIN JARINGAN ZERO DOWN TIME (ZDT)**

Nama : 1. Muh. Ahsan Zamzami
2. Safri

Stambuk : 1. 10582 11130 16
2. 10582 1365 14

Makassar, 12 Februari 2019

Telah Diperiksa dan Disetujui
Oleh Dosen Pembimbing;

Pembimbing I

Rizal Ahdiyati Duyo, S.T., M.T

Pembimbing II

Adriani, S.T., M.T.

Mengetahui,

Ketua Jurusan Elektro



Adriani, S.T., M.T.

NBM. 1044 202



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
PENGESAHAN

Skripsi atas nama **Muh. Ahsan Zamzami** dengan nomor induk Mahasiswa 10582 11130 16 dan **Safri** dengan nomor induk Mahasiswa 10582 1365 14, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0001/SK-Y/20201/091004/2019, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Sabtu tanggal 09 Februari 2019.

Panitia Ujian :

Makassar, 07 Jumadil Akhir 1440 H
12 Februari 2019 M

1. Pengawas Umum

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Prof. Dr. H. Abdul Rahman Rahim, SE., MM.

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Dr. Ir. H. Muh. Arsyad Thaha, M.T

2. Penguji

a. Ketua : Ir. Abd Hafid, M.T

b. Sekretaris : Andi Abd Halik Lateko Tj, S.T.,M.T

3. Anggota : 1. Dr. Ir. Hafsah Nirwana, M.T

2. Suryani, S.T., M.T

3. Dr. Eng. Ir. H. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng
Mengetahui :

Pembimbing I

Pembimbing II

Rizal Ahdiyati Duyo, S.T.,M.T

Adriani, S.T., M.T.

Dekan



Ir. Hamzah Al Imran, S.T., M.T.

KATA PENGANTAR



Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena Rahmat dan HidayahNya sehingga penulis dapat menyusun skripsi ini, dan dapat kami selesaikan dengan baik.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah persyaratan akademik yang harus ditempuh dalam rangka penyelesaian program studi pada Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Adapun judul tugas akhir adalah : *"Analisa peningkatan keandalan kawasan industri makassar(kima) dengan konsep desain jaringan zero down time(ZDT)"*

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan-kekurangan, hal ini disebabkan penulis sebagai manusia biasa tidak lepas dari kesalahan dan kekurangan baik itu ditinjau dari segi tehnik penulis maupun dari perhitungan-perhitungan. Oleh karena itu penulis menerima dengan ikhlas dan senang hati segala koreksi serta perbaikan guna penyempurnaan tulisan ini agar kelak dapat bermanfaat.

Skripsi ini dapat terwujud berkat adanya bantuan, arahan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan segalan ketulusan dan kerendahan hati, kami mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Bapak Hamzah Al Imran, ST,MT. sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
2. Ibu Adriani, ST, MT., sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
3. Bapak.Rizal A Duyo,S.T.,M.T. selaku Pembimbing I dan Ibu Adriani, S.T., M.T. selaku Pembimbing II, yang telah banyak meluangkan waktunya dalam membimbing kami.
4. Bapak dan ibu dosen serta staf pegawai pada fakultas teknik atas segala waktunya telah mendidik dan melayani penulis selama mengikuti proses belajar mengajar di UniversitasMuhammadiyah Makassar.
5. Ayahanda dan Ibunda yang tercinta, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala limpahan kasih sayang, doa dan pengorbanan terutama dalam bentuk materi dalam menyelesaikan kuliah.
6. Saudara-saudaraku serta rekan-rekan mahasiswa Fakultas Teknik terkhusus angkatan 2014 yang dengan keakraban dan persaudaraan banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Semoga semua pihak tersebut di atas mendapat pahala yang berlipat ganda di sisi Allah SWT dan skripsi yang sederhana ini dapat bermanfaat bagi penulis, rekan-rekan, masyarakatsertabangsan Negara. Amin.

Makassar,9 februari 2019

Muh.Ahsan Zamzami¹, Safri²

¹Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknik Unismuh Makassar

E_mail:zamzami.ahsan@gmail.com

²Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknik Unismuh Makassar

E_mail:safrieng13@gmail.com

ABSTRAK

Abstrak; Muh.Ahsan zamzami dan Safri; (2019) Keandalan pasokan listrik merupakan suatu hal yang sangat penting dalam mendukung proses perekonomian, Pelanggan di Kawasan Industri Makassar yang merupakan pusat industri di Sulawesi menuntut agar PLN lebih meningkatkan keandalan pasokan listriknya mengingat seringnya terjadi pemadaman. Untuk meningkatkan keandalan pasokan listrik di kawasan industri Makassar dan dalam menurunkan ENS, maka dilakukan penelitian terhadap factor-faktor yang menyebabkan terjadinya padam dan solusi yang digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Pada tahun 2017, jumlah kali padam penyulang kawasan KIMA di atas 5 menit sebanyak 312 kali sedangkan padam di bawah 5 menit sebanyak 171 kali. Indikator yang digunakan dalam mengukur tingkat keandalan kelistrikan adalah SAIDI, SAIFI, CAIDI, CAIFI dan MAIFI. Besarnya nilai SAIDI=37.6912 Menit/pelanggan/tahun, SAIFI= 0.4343 kali/pelanggan/tahun, CAIDI = 86.780 Menit/pelanggan/tahun, CAIFI=0.439kali/pelanggan/tahun dan MAIFI= 22.77 kali/pelanggan/tahun, Solusi yang diambil dalam peningkatan keandalan di kawasan industri Makassar adalah dengan menerapkan konsep jaringan Zero Down Time yaitu suatu konsep jaringan tanpa padam pelanggan. Berdasarkan hasil analisa, dengan diterapkannya konsep jaringan Zero Down Time maka keandalan yang dihasilkan adalah 100% dengan nilai SAIDI, SAIFI, CAIDI, CAIFI dan MAIFI sama dengan nol. Sedangkan pengaruhnya terhadap keandalan secara sistem kelistrikan Makassar adalah sekitar 2% mengingat jumlah pelanggan di kawasan industri makassar sangat sedikit jika dibandingkan dengan total pelanggan di Makassar. Upaya peningkatan pendapatan PLN dengan penerapan Zero Down Time adalah tergambar dari estimasi turunnya jumlah energy tak tersalur sebesar 855,623.2 kWh menjadi Nol.

Kata Kunci : SAIDI, SAIFI, CAIFI, MAIFI, ZDT.

Muh.Ahsan Zamzami¹, Safri²

¹Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknik Unismuh Makassar

E_mail:zamzami.ahsan@gmail.com

²Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknik Unismuh Makassar

E_mail:safrieng13@gmail.com

ABSTRACT

Abstract; Muh.Ahsan zamzami and Safri; (2019) The reliability of electricity supply is very important in supporting the economic process, Customers in the Makassar Industrial Area, which is the center of industry in Sulawesi, demand that PLN increase the reliability of its electricity supply given the frequent blackouts. To improve the reliability of electricity supply in the Makassar industrial area and in reducing ENS, a study of the factors that cause the occurrence of outages and the solutions used to mitigate these problems is carried out. In 2017, the number of outages of feeders in the KIMA area above 5 minutes is 312 times while out of 5 minutes is 171 times. The indicators used in measuring the level of reliability of electricity are SAIDI, SAIFI, CAIDI, CAIFI and MAIFI. The value of SAIDI = 37.6912 Minutes / customer / year, SAIFI = 0.4343 times / customer / year, CAIDI = 86.780 Minutes / customer / year, CAIFI = 0.439 times / customer / year and MAIFI = 22.77 times / customer / year, Solution taken in increasing reliability in the Makassar industrial area is to apply the concept of Zero Down Time network, which is a concept of networks without customer outages. Based on the results of the analysis, with the implementation of the Zero Down Time network concept the reliability generated is 100% with the value of SAIDI, SAIFI, CAIDI, CAIFI and MAIFI equal to zero. While the effect on the reliability of the electricity system in Makassar is around 2% considering the number of customers in the Makassar industrial area is very small compared to the total customers in Makassar. Efforts to increase PLN's revenue with the application of Zero Down Time are illustrated from the estimation of the decrease in the amount of non-channeled energy by 855,623.2 kWh to become Zero.

Key Words : SAIDI, SAIFI, CAIFI, MAIFI, ZDT.

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|---|----------------|
| HALAMAN SAMPUL | i |
| HALAMAN JUDUL | iii |
| HALAMAN PERSETUJUAN | iv |
| HALAMAN PENGESAHAN | v |
| KATA PENGANTAR | vi |
| ABSTRAK | viii |
| DAFTAR ISI | x |
| DAFTAR GAMBAR | xiii |
| DAFTAR TABEL | xv |
| DAFTAR LAMPIRAN | xvii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| A. Latar Belakang | 1 |
| B. Rumusan Masalah | 2 |
| C. Tujuan Penelitian | 2 |
| D. Batasan Masalah..... | 3 |
| E. Manfaat Penelitian | 3 |
| F. Sistematika Penulisan | 3 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| A. Sistem tenaga listrik | 6 |
| 1. Definisi sistem tenaga listrik..... | 6 |
| 2. Keandalan dan kualitas listrik | 7 |
| B. Gangguan-gangguan pada sistem tenaga listrik | 11 |
| 1. Jenis gangguan | 11 |
| 2. Sebab-sebab gangguan | 13 |
| C. Zero down time | 15 |
| D. Rele differensial | 17 |
| 1. Pengertian Relai Differensial | 17 |
| 2. Prinsip Kerja Relai Differensial | 18 |

| | |
|---|-----------|
| 3. Tinjauan Beberapa Masalah Terhadap Relay Differensial | 19 |
| 4. Relay Differensial Persentase | 21 |
| E. Indeks pengukuran keandalan listrik..... | 22 |
| 1. Sistem Average Interruption Frequency Index (SAIFI) | 24 |
| 2. Sistem Average Interruption Duration Index (SAIDI)..... | 26 |
| 3. Consumer Average Interruption Frequency Index (CAIFI)..... | 29 |
| 4. Consumer Average Interruption Duration Index (CAIDI)..... | 29 |
| 5. Momentary Average Interruption Frequency Index (MAIFI) | 30 |
| F. Energi listrik | 30 |
| | |
| BAB III METODE PENELITIAN | 32 |
| A. Tempat dan waktu penelitian | 32 |
| B. Alat dan bahan..... | 32 |
| C. Langkah penelitian..... | 32 |
| D. Metode penelitian | 34 |
| | |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 39 |
| A. Profile PT PLN (Persero) UP2D Makassar..... | 39 |
| B. Penyulang yang mensuplai Kawasan Industri Makassar (KIMA)..... | 40 |
| C. Jumlah pelanggan masing-masing penyulang di kawasan Industri Makassar (KIMA)..... | 43 |
| D. Index keandalan sistem distribusi di Kawasan Industri Makassar (KIMA). | 44 |
| 1. Sistem Average Interruption Frequency Index (SAIFI) | 45 |
| 2. Sistem Average Interruption Duration Index (SAIDI) | 48 |
| 3. Consumer Average Interruption Frequency Index (CAIFI) | 50 |
| 4. Consumer Average Interruption Duration Index (CAIDI)..... | 52 |

| | |
|--|-----------|
| 5. <i>Momentary Average Interruption Frequency Index (MAIFI)</i> | 55 |
| E. Energi tak tersalur / <i>energy Not sell (ENS)</i> pada tahun 2017 | 62 |
| F. Penerapan Konsep Zero Down Time | 64 |
| 1. Prinsip kerja jaringan Zero Down Time (ZDT) | 67 |
| 2. Simulasi jaringan Zero down Time (ZDT) menggunakan etap | 68 |
| 3. Perbedaan jaringan existing KIMA (loop) dengan konsep jaringan Zero Down Time KIMA. | 71 |
| 4. Pengaruh penerapan konsep jaringan Zero Down Time KIMA terhadap kinerja kendalalan dan Energi tak tersalur pada Sistem Makassar. | 74 |
| 5. Manfaat Operasional Penerapan Zero Down Time (ZDT) di kawasan Industri Makassar. | 76 |
| 6. Manfaat Finansial Penerapan Zero Down Time (ZDT) di kawasan Industri Makassar. | 77 |
| 7. Kelemahan desain jaringan Zero Down Time (ZDT). | 81 |
| BAB V PENUTUP | 82 |
| DAFTAR PUSTAKA | 84 |
| LAMPIRAN | 85 |

DAFTAR GAMBAR

| Gambar | Judul | Halaman |
|---------------|--|----------------|
| 2.1 | Diagram Sistem Tenaga Listrik | 5 |
| 2.2 | konfigurasi jaringan Zero Down Time..... | 17 |
| 2.3 | Pengawatan Dasar Relay Differensial..... | 18 |
| 2.4 | Sistem Pengaman Relay Differensial..... | 19 |
| 2.5 | Karakteristik Trafo Arus (CT) Pada Relay Differensial | 20 |
| 2.6 | Relay Differensial Persentase (Relay Differensial Bias). | 21 |
| 2.7 | Karakteristik Operasi Dari Sebuah Relay Differensial | 22 |
| 2.8 | Realisasi SAIFI Negara eropa..... | 25 |
| 2.9 | Realisasi SAIFI Negara eropa tahun 2016 | 25 |
| 2.10 | Nilai SAIDI Negara-negara Eropa..... | 27 |
| 2.11 | Nilai SAIDI Negara-negara Eropa tahun 2016 | 27 |
| 3.1 | Diagram metodologi penyusunan tugas akhir..... | 30 |
| 4.1. | Wilayah kerja PLN UP2D Makassar | 40 |
| 4.2. | Single Line Diagram Kawasan Industri Makassar (KIMA) | 42 |
| 4.3 . | Grafik SAIFI KIMA | 47 |
| 4.4. | Grafik kali gangguan kawasan KIMA. | 57 |
| 4.5. | Grafik kelompok penyebab gangguan KIMA..... | 62 |
| 4.6. | Grafik Energi tak tersalur..... | 63 |
| 4.7. | Jaringan ZDT kawasan KIMA | 66 |
| 4.8 | konfigurasi jaringan ZDT P_Sanmaru & P_Effem | 67 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4.9. | load flow jaringan ZDT kondisi normal dengan aplikasi etap..... | 69 |
| 4.10. | simulasi jaringan ZDT pada kondisi gangguan di section 2 | 70 |
| 4.11. | konfigurasi ZDT sistem KIMA dengan Etap..... | 70 |
| 4.12 | jaringan loop..... | 72 |
| 4.13 | jaringan Zero down Time..... | 73 |

DAFTAR TABEL

| Tabel | Judul | Halaman |
|--------------|---|----------------|
| 4.1. | Data jumlah pelanggan penyulang kawasan KIMA..... | 43 |
| 4.2. | Data penyulang KIMA pada sistem Makassar..... | 44 |
| 4.3 | nilai SAIFI sistem KIMA (Terhadap pelanggan KIMA)..... | 46 |
| 4.4. | SAIDI sistem KIMA | 49 |
| 4.5. | Nilai CAIFI Sistem KIMA..... | 51 |
| 4.6 | Data Nilai SAIFI DAN SAIDI persistem kima | 53 |
| 4.7 | Nilai caidi persistem kima..... | 54 |
| 4.8 . | Nilai MAIFI kawasan KIMA | 56 |
| 4.9. | Rekapitulasi indeks keandalan KIMA pada sistem Makassar | 58 |
| 4.10. | Data gangguan kawasan KIMA pada tahun 2017..... | 60 |
| 4.11. | Data kali padam berdasarkan daerah penyebab padam..... | 61 |
| 4.12 . | Data energi tak tersalur tahun 2017 | 63 |
| 4.13. | Nilai indeks keandalan kawasan industri makassar(kima)..... | 75 |
| 4.14. | Perbandingan nilai keandalan sistem Makassar | 75 |
| 4.15. | Nilai Energi Not Sell (ENS)..... | 76 |
| 4.16. | Data tariff premium..... | 78 |

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

| Notasi | Definisi dan Keterangan |
|--------|------------------------------------|
| PT | Perseroan Terbatas |
| PLN | Perusahaan Listrik Negara |
| UP2D | Unit Pelaksana Pengatur Distribusi |
| KIMA | Kawasan Industri Makassar |
| ZDT | Zero Down Time |
| SUTM | Saluran udara Tegangan Menengah |
| ENS | Energi Not Served |
| DCC | Distribution control centre |
| GI | Gardu Induk |
| JTM | Jaringan Tegangan Menengah |
| KV | Kilo Volt |
| FO | Fiber Optic |
| GH | Garder Switch Hubung |
| ATS | Automatic Transfer Switch |
| GFR | Ground Fault Relay |
| OCR | Over Current Relay |
| V | Volt |
| W | Watt |
| CB | Circuit Breaker |

DAFTAR LAMPIRAN

| Lampiran | Judul | |
|-----------------|---|----|
| Halaman | | |
| Lampiran 1 | Data gangguan sistem distribusi makassar 2017 | 85 |
| Lampiran 2 | Data gangguan sistem distribusi makassar 2017 | 92 |

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pemadaman listrik yang terlalu sering dengan waktu padam yang lama dan tegangan listrik yang tidak stabil, merupakan refleksi dari keandalan dan kualitas listrik yang kurang baik, dimana akibatnya dapat dirasakan secara langsung oleh pelanggan. Sistem tenaga listrik yang andal dan energi listrik dengan kualitas yang baik atau memenuhi standar, mempunyai kontribusi yang sangat penting bagi kehidupan masyarakat modern karena peranannya yang dominan di bidang industri, telekomunikasi, teknologi informasi, pertambangan, transportasi umum, dan lain-lain yang semuanya itu dapat beroperasi karena tersedianya energi listrik. Perusahaan-perusahaan yang bergerak di berbagai bidang sebagaimana disebutkan di atas, akan mengalami kerugian cukup besar jika terjadi pemadaman listrik tiba-tiba atau tegangan listrik yang tidak stabil, dimana aktifitasnya akan terhenti atau produk yang dihasilkannya menjadi rusak atau cacat.

Negara-negara yang memiliki sistem pembangkit, transmisi dan distribusi energi listrik dengan teknologi dan peralatan mutakhir serta manajemen yang baik seperti Amerika Serikat, Jepang, Perancis dan negara-negara maju lainnya benar-benar memberikan perhatian khusus terhadap keandalan dan kualitas listrik karena pengaruhnya yang krusial terhadap roda perekonomian.

Untuk sistem kelistrikan di wilayah PLN Area Makassar Utara khususnya pelanggan di Kawasan Industri Makassar (KIMA), permintaan dan tuntutan

pelanggan industri terkait keandalan listrik sangat tinggi. Karena Hal ini sangat berpengaruh terhadap tingkat kualitas dan kauntitas produksi mereka.

Atas dasar pembahasan di atas, maka penulis mencoba untuk mengetahui besarnya manfaat penerapan konsep jaringan Zero Down Time terhadap keandalan kelistrikan di Kawasan Industri Makassar (KIMA).

B. Rumusan Masalah.

Adapun rumusan masalah yang dapat penulis sebutkan yaitu :

1. Seberapa besar pengaruh konsep jaringan Zero Down Time terhadap keandalan kelistrikan di Kawasan Industri Makassar.
2. Adakah perbedaan antara konsep jaringan existing dengan konsep jaringan Zero Down Time di Kawasan Industri Makassar.
3. Berapa besar finansial bagi Perusahaan Listrik Negara (PLN) dengan dijalankannya konsep jaringan Zero Down Time (ZDT) di Kawasan Industri Makassar (KIMA).

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengidentifikasi besarnya pengaruh konsep jaringan Zero Down Time terhadap keandalan kelistrikan di Kawasan Industri Makassar (KIMA).
2. Mengidentifikasi perbedaan antara konsep jaringan existing dengan konsep jaringan Zero Down Time (ZDT) penyulang yang mensuplai Kawasan Industri Makassar (KIMA)

3. Mengukur besarnya finansial bagi PLN dengan diterapkannya konsep jaringan Zero Down Time di Kawasan industri makassar(KIMA)

D. Batasan masalah

Dalam proposal judul ini,penulis membuat batasan masalah sebagai berikut:

1. Membahas keandalan kelistrikan khususnya di Kawasan Industri Makassar (KIMA).
2. Membuat analisa desain jaringan Zero down time yang handal di Kawasan Industri Makassar (KIMA).

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

- a. Untuk meningkatkan pengetahuan tentang desain jaringan zero down time distribusi 20 kV.
- b. Mengetahui manfaat secara operasional dan manfaat finansial bagi perusahaan Listrik Negara (PLN) jika diterapkan konsep jaringan Zero down time di Kawasan Industri Makassar.
- c. Dapat mengetahui sejauh mana penerapan jaringan zero down time di Kawasan Industri Makassar.

F. Sistematika Penulisan

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian,

batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas tentang teori-teori yang berkaitan dengan konsep jaringan Zero Down Time.

BAB III: METODE PENELITIAN

Bab ini membahas tentang cara penelitian, waktu dan tempat dilakukannya penelitian di kawasan industri makassar(kima)

BAB IV : PEMBAHASAN DAN HASIL

Bab ini membahas tentang hasil dan pembahasan

BAB V : PENUTUP

Bab ini merupakan penutup yang berisi tentang simpulan dan saran terkait judul penelitian

DAFTAR PUSTAKA

Keterangan tentang bacaan yang dijadikan sebagai bahan rujukan dari penulisan skripsi seperti buku teks, jurnal, artikel, dan lain-lain.

LAMPIRAN

Berisi tentang data-data dan lain-lain.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Sistem Tenaga Listrik

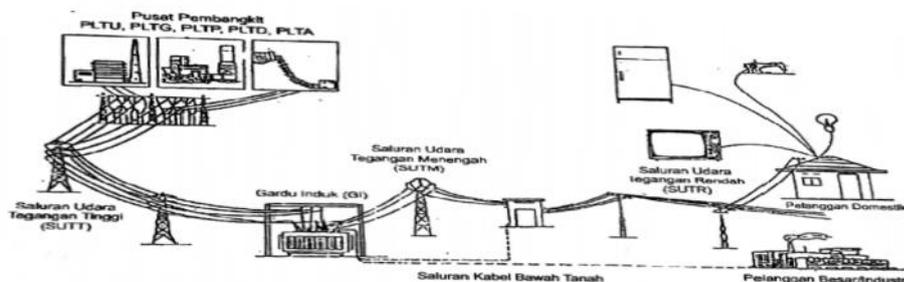
1. Definisi Sistem Tenaga Listrik

Menurut Djiteng Marsudi (2006) untuk keperluan tenaga listrik bagi pelanggan, diperlukan berbagai peralatan listrik, berbagai peralatan listrik ini dihubungkan satu sama lain yang mempunyai interrelasi dan secara keseluruhan membentuk suatu sistem tenaga listrik.

Pada umumnya, sistem tenaga listrik dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu:

- a. Pembangkit
- b. Transmisi
- c. Distribusi

Penyaluran energi listrik dari pusat pembangkit sampai ke konsumen dapat digambarkan seperti gambar 2.1, pada gambar di bawah ini sudah mencakup ketiga unsur dari tiga komponen utama sistem tenaga listrik.



Gambar 2.1 Diagram Sistem Tenaga Listrik

Energi listrik yang dihasilkan pusat pembangkit listrik akan disalurkan melalui saluran transmisi kemudian melalui saluran distribusi akan sampai kekonsumen.

1. Pusat Pembangkit Listrik (*Power Plant*)

Pusat pembangkit listrik merupakan tempat pertama kali energi listrik dibangkitkan atau dihasilkan. Di sini terdapat turbin penggerak awal dan juga generator yang mengubah tenaga turbin menjadi energi listrik. Terdapat beberapa jenis pusat pembangkit listrik yang biasanya dibagi kedalam dua bagian besar yaitu pembangkit *hidro* (PLTA) dan pembangkit *thermal* (PLTU, PLTG, PLTGU, PLTD, PLTP).

2. Transmisi Tenaga Listrik

Transmisi tenaga listrik merupakan proses penyaluran tenaga listrik dari pusat pembangkitan listrik hingga saluran distribusi listrik sehingga nantinya sampai pada konsumen/pengguna listrik.

3. Sistem Distribusi

Sistem distribusi ini merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan/konsumen dan berfungsi dalam hal pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat. Sub sistem ini terdiri dari : pusat pengatur / gardu induk, gardu hubung, saluran tegangan menengah/jaringan primer (6 kV dan 20 kV) yang berupa saluran udara atau kabel bawah tanah, saluran tegangan rendah / jaringan sekunder (380 V dan 220 V), gardu distribusi tegangan yang terdiri dari panel-panel pengatur tegangan baik tegangan menengah ataupun tegangan rendah, dan trafo. (Joko et al, 2010:1-3)

2. Keandalan dan Kualitas listrik

Menurut Gonen Toren (1986), keandalan sistem distribusi sebagai “kemungkinan perangkat atau sistem melakukan fungsi itu memadai, untuk periode waktu yang dimaksudkan, dibawah kondisi operasi dimaksudkan,” dalam pengertian ini, tidak hanya kemungkinan kegagalan tetapi juga itu besarnya, durasi dan frekuensi penting. Secara fisik tidak mungkin memperoleh keandalan 100% karena kegagalan sistem yang kadang terjadi, peluang terjadinya pemadaman dapat dikurangi secara perlahan dengan menambah biaya selama masa perencanaan dan masa operasi atau keduanya.

Pemadaman listrik yang terlalu sering dengan waktu padam yang lama dan tegangan listrik yang tidak stabil, merupakan refleksi dari keandalan dan kualitas listrik yang kurang baik, dimana akibatnya dapat dirasakan secara langsung oleh pelanggan. Sistem tenaga listrik yang andal dan energi listrik dengan kualitas yang baik atau memenuhi standar, mempunyai kontribusi yang sangat penting bagi kehidupan masyarakat modern karena peranannya yang dominan dibidang industri, telekomunikasi, teknologi informasi, pertambangan, transportasi umum, dan lain-lain yang semuanya itu dapat beroperasi karena tersedianya energi listrik.

Perusahaan-perusahaan yang bergerak diberbagai bidang sebagaimana disebutkan diatas, akan mengalami kerugian cukup besar jika terjadi pemadaman listrik tiba-tiba atau tegangan listrik yang tidak stabil, dimana aktifitasnya akan terhenti atau produk yang dihasilkannya menjadi rusak atau cacat.

Negara-negara yang memiliki sistem pembangkit, transmisi dan distribusi energi listrik dengan teknologi dan peralatan mutakhir serta manajemen yang baik

seperti Amerika Serikat, Jepang, Perancis dan negara-negara maju lainnya benar-benar memberikan perhatian khusus terhadap keandalan dan kualitas listrik karena pengaruhnya yang krusial terhadap roda perekonomian.

Ukuran keandalan dan kualitas listrik secara umum ditentukan oleh beberapa parameter sebagai berikut:

a. Frekuensi dengan satuan hertz (Hz):

Yaitu jumlah siklus arus bolak-balik (alternating current, AC) per detik. Beberapa negara termasuk Indonesia menggunakan frekuensi listrik standar, sebesar 50 Hz. Frekuensi listrik ditentukan oleh kecepatan perputaran dari turbin sebagai penggerak mula. Salah satu contoh akibat dari frekuensi listrik yang tidak stabil adalah akan mengakibatkan perputaran motor listrik sebagai penggerak mesin-mesin produksi di industri manufaktur juga tidak stabil, dimana hal ini akan mengganggu proses produksi.

Gangguan-gangguan yang terjadi pada sistem frekuensi:

1. Penyimpangan terus-menerus (Continuous Deviation); frekuensi berada diluar batasnya pada saat yang lama (secara terus-menerus), frekuensi standar 50 Hz dengan toleransi 0,6 Hz ----- (49,4 – 50,6 Hz).
2. Penyimpangan sementara (Transient Deviation); penurunan atau penaikan frekuensi secara tiba-tiba dan sesaat.

b. Tegangan atau voltage dengan satuan volt (V):

Tegangan yang baik adalah tegangan yang tetap stabil pada nilai yang telah ditentukan, Walaupun terjadinya fluktuasi (ketidakstabilan) pada tegangan ini tidak dapat dihindarkan, tetapi Dapat diminimalkan .

Gangguan pada tegangan antara lain :

1. Fluktuasi Tegangan; seperti Tegangan Lebih (*Over Voltage*), Tegangan Turun (*Drop Voltage*) dan tegangan getar (*flicker voltage*)

Tegangan lebih pada sistem akan mengakibatkan arus listrik yang mengalir menjadi besar dan mempercepat kemunduran isolasi (*deterioration of insulation*) sehingga menyebabkan kenaikan rugi-rugi daya dan operasi, memperpendek umur kerja peralatan dan yang lebih fatal akan terbakarnya peralatan tersebut.

Peralatan-peralatan yang dipengaruhi saat terjadi tegangan lebih adalah transformer, motor-motor listrik, kapasitor daya dan peralatan kontrol yang menggunakan coil/kumparan seperti solenoid valve, magnetic switch dan relay. tegangan lebih biasanya disebabkan karena eksitasi yang berlebihan pada generator listrik (*over excitation*), sambaran petir pada saluran transmisi, proses pengaturan atau beban kapasitif yang berlebihan pada sistem distribusi. Tegangan turun pada sistem akan mengakibatkan berkurangnya intensitas cahaya (*redup*) pada peralatan penerangan; bergetar dan terjadi kesalahan operasi pada peralatan kontrol seperti automatic valve, magnetic switch dan auxiliary relay; menurunnya torsi pada saat start (*starting torque*) pada motor-motor listrik. Tegangan turun biasanya disebabkan oleh kurangnya eksitasi pada generator listrik (*drop excitation*), saluran transmisi yang terlalu panjang, jarak beban yang terlalu jauh dari pusat distribusi atau peralatan yang sudah berlebihan beban kapasitifnya.

2. Tegangan Kedip (*Dip Voltage*);

adalah turunnya tegangan (umumnya sampai 20%) dalam perioda waktu yang sangat singkat (dalam milli second). Penyebabnya adalah hubungan singkat

(short circuit) antara fasa dengan tanah atau fasa dengan fasa pada jaringan distribusi. Tegangan kedip dapat mengakibatkan gangguan pada: stabilisator tegangan arus DC, electromagnetic switch, variable speed motor, high voltage discharge lamp dan under voltage relay.

3. Harmonik Tegangan (*Voltage Harmonic*);

adalah komponen-komponen gelombang sinus dengan frekuensi dan amplitudo yang lebih kecil dari gelombang asalnya (bentuk gelombang yang cacat). Tegangan harmonik dapat mengakibatkan: panas yang berlebihan, getaran keras, suara berisik dan terbakar pada peralatan capacitor reactor (power capacitor); meledak pada peralatan power fuse (power capacitor); salah beroperasi pada peralatan breaker; suara berisik dan bergetar pada peralatan rumah tangga (seperti TV, radio, lemari pendingin dsb.); dan pada peralatan motor listrik, elevator dan peralatan-peralatan kontrol akan terjadi suara berisik, getaran yang tinggi, panas yang berlebihan dan kesalahan operasi. Kontribusi arus harmonik akan menyebabkan cacat (distorsi) pada tegangan, tergantung seberapa besar kontribusinya.

Cara mengurangi pengaruh tegangan harmonik yang terjadi pada sistem adalah dengan memasang harmonic filter yang sesuai pada peralatan-peralatan yang dapat menyebabkan timbulnya harmonik seperti arus magnetisasi transformer, static VAR compensator dan peralatan-peralatan elektronika daya (seperti inverter, rectifier, converter, dsb.)

4. Ketidak seimbangan tegangan (*Unbalance Voltage*);

umumnya terjadi di sistem distribusi karena pembebanan fasa yang tidak

merata, Gangguan-gangguan tegangan sebagaimana dijelaskan diatas dapat menyebabkan peralatan-peralatan yang menggunakan listrik, beroperasi secara tidak normal dan yang paling fatal adalah kerusakan atau terbakarnya peralatan.

c. Interupsi atau Pemadaman Listrik;

Interupsi ini dapat dibedakan menjadi:

1. Pemadaman yang direncanakan (Planned Interruption/scheduled interruption); adalah pemadaman yang terjadi karena adanya pekerjaan perbaikan atau perluasan jaringan pada sistem tenaga listrik.
2. Pemadaman yang tidak direncanakan (Unplanned Interruption); adalah pemadaman yang terjadi karena adanya gangguan pada sistem tenaga listrik seperti hubung singkat (short circuit).

Parameter-parameter yang menentukan keandalan dan kualitas listrik sebagaimana dijelaskan diatas adalah sesuatu yang meyakinkan (measureable) dan dapat diminimalkan dengan cara mengkoreksi terhadap konfigurasi dan peralatan pada sistem, manajemen serta sumber daya manusia yang handal dari perusahaan yang menjual energi listrik

B. Gangguan – Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik

1. Jenis Gangguan

Gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik sangat beragam besaran dan jenisnya. Gangguan dalam sistem tenaga listrik adalah keadaan tidak normal dimana keadaan ini dapat mengakibatkan terganggunya kontinuitas pelayanan tenaga listrik.

Secara umum klasifikasi gangguan pada sistem tenaga listrik disebabkan oleh 2 faktor, yaitu:

1. Gangguan yang berasal dari sistem
2. Gangguan yang berasal dari luar sistem

Penyebab gangguan yang berasal dari dalam sistem antara lain :

- a. Tegangan dan arus abnormal.
- b. Pemasangan yang kurang baik.
- c. Kesalahan mekanis karena proses penuaan
- d. Beban lebih.
- e. Kerusakan material seperti isolator pecah, kawat putus, atau kabel cacat isolasinya.

Sedangkan untuk gangguan yang berasal dari luar sistem antara lain:

- a. Gangguan-gangguan mekanis karena pekerjaan galian saluran lain. Gangguan initerjadi untuk sistem kelistrikan bawah tanah.
- b. Pengaruh cuaca seperti hujan, angin, serta surja petir. Pada gangguan surja petir dapat mengakibatkan gangguan tegangan lebih dan dapat menyebabkan gangguan hubung singkat karena tembus isolasi peralatan (breakdown).
- c. Pengaruh lingkungan seperti pohon, binatang dan benda-benda asing serta akibat kecerobohan manusia

Bila ditinjau dari segi lamanya waktu gangguan, maka dapat dikelompokkan menjadi:

- a. Gangguan yang bersifat temporer, yang dapat hilang dengan sendirinya atau

dengan memutuskan sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangannya. Gangguan sementara jika tidak dapat hilang dengan segera, baik hilang dengan sendirinya maupun karena bekerjanya alat pengaman dapat berubah menjadi gangguan permanen

- b. Gangguan yang bersifat permanen, dimana untuk membebaskannya diperlukan tindakan perbaikan dan/atau menyingkirkan penyebab gangguan tersebut.

Untuk gangguan yang bersifat sementara setelah arus gangguannya terputus misalnya karena terbukanya circuit breaker oleh rele pengamannya, peralatan atau saluran yang terganggu tersebut siap dioperasikan kembali. Sedangkan pada gangguan permanen terjadi kerusakan yang bersifat permanen sehingga baru bisa dioperasikan kembali setelah bagian yang rusak diperbaiki atau diganti.

Pada saat terjadi gangguan akan mengalir arus yang sangat besar pada fasa yang terganggu menuju titik gangguan, dimana arus gangguan tersebut mempunyai harga yang jauh lebih besar dari rating arus maksimum yang diijinkan, sehingga terjadi kenaikan temperatur yang dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan listrik yang digunakan.

2. Sebab-sebab Gangguan

Sebab – Sebab Timbulnya Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik, Dalam sistem tenaga listrik tiga fasa, gangguan–gangguan arus lebih yang mungkin terjadi adalah sebagai berikut yaitu :

- a. Gangguan beban lebih (*overload*)

Gangguan ini sebenarnya bukan gangguan murni, tetapi bila dibiarkan terus menerus berlangsung dapat merusak peralatan listrik yang dialiri arus tersebut. Pada saat gangguan ini terjadi arus yang mengalir melebihi dari kapasitas peralatan listrik dan pengaman yang terpasang.

b. Gangguan hubung singkat

Gangguan hubung singkat dapat terjadi dua fasa, tiga fasa, satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah, atau 3 fasa ke tanah. Gangguan hubung singkat ini sendiri dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu gangguan hubung singkat simetri dan gangguan hubung singkat tak simetri (asimetri). Gangguan yang termasuk dalam hubung singkat simetri yaitu gangguan hubung singkat tiga fasa, sedangkan gangguan yang lainnya merupakan gangguan hubung singkat tak simetri (asimetri). Gangguan ini akan mengakibatkan arus lebih pada fasa yang terganggu dan juga akan dapat mengakibatkan kenaikan tegangan pada fasa yang tidak terganggu.

Hampir semua gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik adalah gangguan tidak simetri. Gangguan tidak simetri ini terjadi sebagai akibat gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, gangguan hubung singkat dua fasa, atau gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah.

Gangguan-gangguan tidak simetri akan menyebabkan mengalirnya arus tak seimbang dalam sistem sehingga untuk analisa gangguan digunakan metode komponen simetri untuk menentukan arus maupun tegangan di semua bagian sistem setelah terjadi gangguan. Gangguan ini akan mengakibatkan arus lebih pada fasa yang terganggu dan juga akan dapat mengakibatkan kenaikan tegangan

pada fasa yang tidak terganggu. Gangguan dapat diperkecil dengan cara pemeliharannya.

Adapun akibat-akibat yang ditimbulkan dengan adanya gangguan hubung singkat tersebut antara lain:

1. Rusaknya peralatan listrik yang berada dekat dengan gangguan yang disebabkan arus-arus yang besar, arus tak seimbang maupun tegangan-tegangan rendah.
2. Berkurangnya stabilitas daya sistem tersebut.
3. Terhentinya kontinuitas pelayanan listrik kepada konsumen apabila gangguan hubung singkat tersebut sampai mengakibatkan bekerjanya CB yang biasa disebut dengan pemadaman listrik.

c. Gangguan tegangan lebih

Gangguan tegangan lebih diakibatkan karena adanya kelainan pada sistem.

Gangguan tegangan lebih dapat terjadi antara lain karena :

1. gangguan petir
2. gangguan surja hubung, di antaranya adalah penutupan saluran tak serempak pada pemutus tiga fasa, penutupan kembali saluran dengan cepat, pelepasan beban akibat gangguan, penutupan saluran yang semula tidak masuk sistem menjadi masuk sistem, dan sebagainya.

C. Zero Down Time

Zero down time merupakan istilah yang digunakan untuk sistem yang membutuhkan keandalan pasokan. Salah satu sistem yang sangat membutuhkan

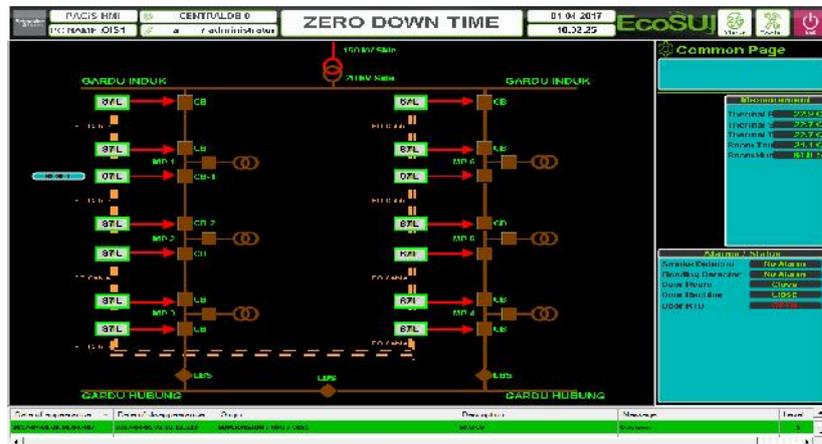
keandalan adalah sistem kelistrikan. Sistem kelistrikan diharapkan selalu andal dan selalu menyalurkan listrik ke pelanggan tanpa ada hambatan (padam) baik itu padam disebabkan oleh gangguan maupun padam karena pemeliharaan.

Ada beberapa syarat suatu kawasan yang layak dibangun konsep jaringan Zero Down Time adalah:

1. Kawasan VIP
2. Kawasan bisnis
3. Kawasan yang memiliki beban yang cukup besar
4. Kawasan industry.

Syarat yang harus dipenuhi untuk menjalankan konsep jaringan Zero down time adalah sebagai berikut:

1. Dua Penyulang harus beroperasi normal secara parallel dan bersumber dari trafo yang sama (dalam 1 busbar)
2. Beban masing-masing penyulang yang diparalel harus lebih kecil dari 50% dari nilai setting proteksi OCR di PMT.
3. Beban (trafo pelanggan) harus tercluster/terpusat di Gardu distribusi (GD)/GH
4. PMT di GH/ Gardu distribusi harus CBO (Circuit breaker otomatik)
5. Menggunakan relai differensial sebagai relai utama (main relai)
6. Jalur komunikasi antara CT relai harus memiliki availability yang sangat tinggi.



Gambar 2.2 konfigurasi jaringan Zero Down Time

D. RELE DIFERENSIAL

1. Pengertian Relai Differensial

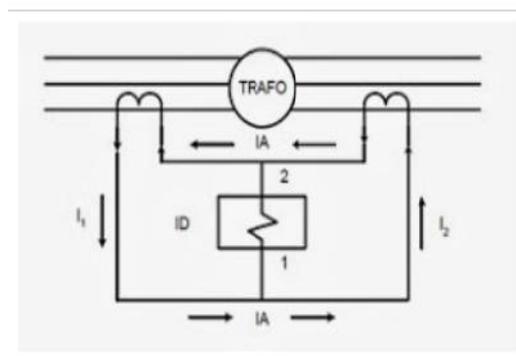
Relai diferensial bekerja dengan membandingkan arus yang masuk dan arus yang keluar (Arun, 2001). Ketika terjadi perbedaan maka relai akan mendeteksi adanya gangguan dan menginstruksikan PMT untuk membuka (*trip*) apabila terjadi perbedaan (Nikhil, 2014). Perbedaan di sini adalah perbedaan nilai arus dan perbedaan besar fasa (stabilitas arus). Relai ini lebih efektif untuk menangani gangguan internal transformator (Raju, 2012). Pada gangguan di luar daerah pengamanan, trafo tidak akan bekerja karena arus masukan dan keluaran sama besar walaupun melebihi arus dari nominal trafo daya.

Relai diferensial bekerja tanpa koordinasi dengan relai yang lain, sehingga kerja relai ini memerlukan waktu yang cepat. Berbeda dengan sifat relai yang lain, relai ini bersifat sangat selektif. Sifat selektif yang dimaksud adalah relai diferensial tidak akan bekerja pada saat normal atau gangguan di luar daerah pengamanan. Relai ini juga tidak dapat dijadikan sebagai pengaman cadangan dan relai ini

memiliki daerah pengamanan yang dibatasi oleh trafo arus (CT).

2. Prinsip Kerja Relai Differensial

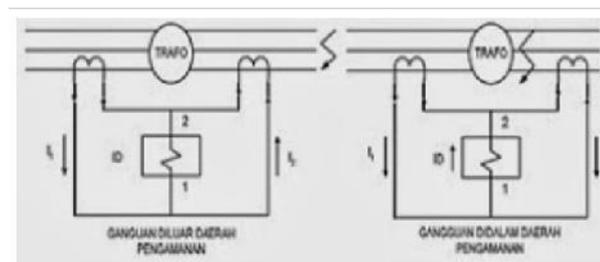
Sebagaimana disebutkan diatas, Relay differensial adalah suatu alat proteksi yang sangat cepat bekerjanya dan sangat selektif berdasarkan keseimbangan (*balance*) yaitu perbandingan arus yang mengalir pada kedua sisi trafo daya melalui suatu perantara yaitu trafo arus (CT). Dalam kondisi normal, arus mengalir melalui peralatan listrik yang diamankan (generator, transformator dan lain-lainnya). Arus-arus sekunder transformator arus, yaitu I_1 dan I_2 bersikulasi melalui jalur IA. Jika relay pengaman dipasang antara terminal 1 dan 2, maka dalam kondisi normal tidak akan ada arus yang mengalir melaluinya. Dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.3 Pengawatan Dasar Relay Differensial

Jika terjadi gangguan diluar peralatan listrik peralatan listrik yang diamankan (*external fault*), maka arus yang mengalir akan bertambah besar, akan tetapi sirkulasinya akan tetap sama dengan pada kondisi normal, sehingga relay pengaman tidak akan bekerja untuk gangguan luar tersebut. Jika gangguan terjadi didalam (*internal fault*), maka arah sirkulasi arus disalah satu sisi akan terbalik,

menyebabkan keseimbangan pada kondisi normal terganggu, akibatnya arus ID akan mengalir melalui relay pengaman dari terminal 1 menuju ke terminal 2. Selama arus-arus sekunder transformator arus sama besar, maka tidak akan ada arus yang mengalir melalui kumparan kerja (*operating coil*) relay pengaman, tetapi setiap gangguan (antar fasa atau ke tanah) yang mengakibatkan sistem keseimbangan terganggu, akan menyebabkan arus mengalir melalui *Operating Coil* relay pengaman, maka relai pengaman akan bekerja dan memberikan perintah putus (*tripping*) kepada *circuit breaker* (CB) sehingga peralatan atau instalasi listrik yang terganggu dapat diisolir dari sistem tenaga listrik. Seperti gambar dibawah ini :



Gambar 2.4 Sistem Pengaman Relay Differensial

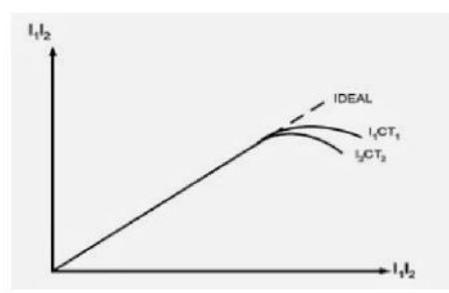
3. Tinjauan Beberapa Masalah Terhadap Relay Differensial

a. Karakteristik CT

Relay differensial dalam operasinya bahwa dalam keadaan normal atau terjadi gangguan diluar daerah pengamanannya arus pada relay sama dengan nol. Karena itu kemungkinan salah kerja dari relay differensial dapat terjadi, arus yang dapat menyebabkan relay salah kerja tersebut dinamakan arus ketidakseimbangan. Bila suatu arus yang besar mengalir melalui suatu trafo arus maka arus pada

terminal sekunder tidak lagi linear terhadap arus primer. Hal ini disebabkan kejenuhan pada intinya. Pada relay differensial trafo arusnya harus identik, namun kejenuhan intinya tidak dapat sama betul. Hal ini disebabkan perbedaan beban dari masing-masing trafo arus tersebut.

b. Karakteristik Trafo Arus pada relay differensial, seperti gambar berikut ini



Gambar 2.5 Karakteristik Trafo Arus (CT) Pada Relay Differensial

c. Perubahan Sadapan Berbeban

Pada saat ini umumnya transformator sudah dilengkapi dengan pengubah sadapan berbeban dimana tap input dapat dirubah untuk mendapatkan output yang dikehendaki. Penyetelan dari trafo-trafo arus pada transformator daya telah diset pada tegangan nominal dari transformator daya tersebut. Dengan demikian bila terjadi gangguan pada waktu operasi transformator tersebut, maka tegangan pada sisi primernya harus dirubah agar tegangan pada sisi sekundernya tetap. Oleh karena itu harga-harga tap trafo yang telah diset pada tegangan nominalnya tadi tidak akan tepat lagi. Hal tersebutlah yang menyebabkan terjadinya arus ketidak seimbangan yang dapat membuat relay salah kerja.

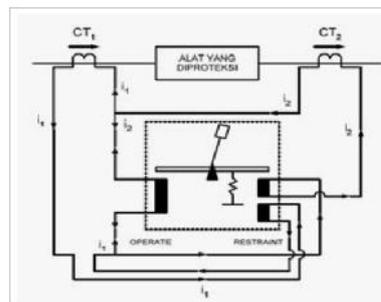
d. Adanya Arus Serbu Magnetisasi (Magnetising Inrush Current) Pada Trafo

Jika trafo daya dihubungkan kesuatu sumber tenaga (jaringan) maka pada sisi primernya akan terjadi proses transient yaitu menaiknya arus yang dinamakan

arus serbu magnetisasi (*Magnetising Inrush Current*) yang besarnya dapat mencapai 8 sampai 30 kali dari arus beban penuh yang terjadi dalam waktu relative cepat. Peristiwa ini dapat membawa pengaruh terhadap kerja suatu relay kendatipun pada daerah pengamanan tidak terjadi kesalahan.

4. Relay Differensial Persentase

relay differensial dilengkapi dengan kumparan kerja dan restraining coil (kumparan penahan) atau lebih dikenal dengan Relay Differensial Persentase (Relay Differensial Bias). Dengan melakukan pembaharuan relay defferensial yang berdasarkan Prinsip Sirkulasi arusnya adalah untuk mengatasi gangguan yang timbul diluar dari pada perbedaan dalam hal ratio terhadap nilai arus hubung singkat External yang tinggi. Relay differensial dengan persentase memiliki Coil (belitan) peredam tambahan yang dihubungkan dengan pilot wire seperti gambar berikut ini :

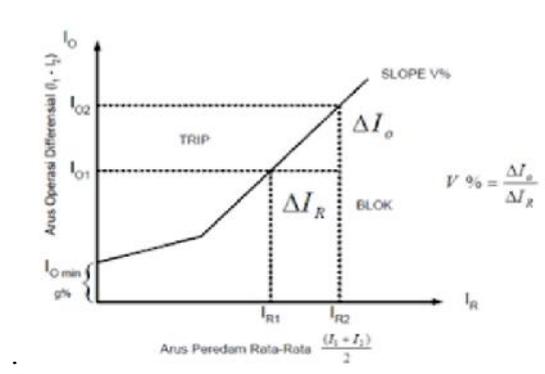


Gambar 2.6 Relay Differensial Persentase (Relay Differensial Bias).

Didalam relay ini kumparan kerjanya dihubungkan dengan titik tengah kumparan penahan (peredam), total jumlah impedansi belitan didalam kumparan peredam sama dengan jumlah ampere belitan yang ada pada kedua $\frac{1}{2}$ bagian kumparan yaitu $I_1N/2 + I_2/N$ yang memberikan rata-rata arus peredam sebesar $(I_1 + I_2)/2$ di

dalam belitan N. Untuk gangguan luar I1 dan I2 semakin besar dan karenanya kopel peredam bertambah besar yang bisa mencegah kesalahan operasi.

Karakteristik operasi dari relay yang demikian diberikan pada gambar dibawah ini



Gambar 2.7 Karakteristik Operasi Dari Sebuah Relay Differensial

Ratio arus perendaman rata-rata dari arus operasi differensial persentasenya bisa ditetapkan, maka relay tersebut dinamakan relay differensial dengan persentase. Relay tersebut juga disebut relay differensial bias, sebab relay ini dilengkapi dengan flux tambahan. Persentase relay differensial bias memiliki karakteristik pick-up yang semakin tinggi. Karena besarnya arus yang lewat semakin bertambah, maka arus peredamannya semakin bertambah.

E. Indeks Pengukuran Keandalan Listrik

SAIFI, SAIDI, CAIFI, CAIDI dan MAIFI adalah beberapa indeks yang digunakan untuk mengukur keandalan sistem distribusi tenaga listrik. Sebelum kita menjelaskan beberapa indeks tersebut, ada baiknya kita bahas sepintas tentang masalah keandalan sistim distribusi tenaga listrik.

Keandalan sistim distribusi tenaga listrik dapat didefinisikan sebagai kemampuan komponen sistem tenaga listrik untuk mengantarkan listrik ke semua

titik konsumsi, dalam kuantitas dan dengan kualitas yang sesuai dengan keinginan konsumen. Dalam hal ini, yang sesuai dengan keinginan konsumen tersebut telah ditetapkan oleh PLN sebagai penyedia tenaga listrik sesuai SLA (Service Level Acceptance) nya.

Keandalan sistim distribusi tenaga listrik sering diukur dengan indeks outage (indeks gangguan) yang didefinisikan dalam satu standar internasional , yaitu pada standar IEEE 1366. Indeks outage ini didasarkan pada durasi atau lama gangguan aliran listrik dan jumlah gangguan yang terjadi.

Berdasarkan aliran sumber daya listrik, kehandalan sistim tenaga listrik dipengaruhi oleh kehandalan pada ketiga komponen utama yaitu pembangkit tenaga listrik, transmisi dan distribusi. Sedangkan yang berhubungan langsung dengan konsumen, adalah transmisi dan distribusi.

Hasil survei (di negara maju) menunjukkan bahwa 80-90% pemadaman listrik yang dialami konsumen disebabkan oleh gangguan pada distribusi listrik. Pemadaman listrik adalah peristiwa yang tidak direncanakan dan memiliki catatan dalam hal frekuensi (jumlah pemadaman) , durasi (lamanya pemadaman) dan jumlah beban (konsumen) yang terpengaruh akibat gangguan tersebut.

Pemadaman sesaat didefinisikan sebagai pemadaman yang berlangsung kurang dari 5 menit, sesuai dengan waktu yang dibutuhkan untuk pemulihan gangguan yang penanganannya bersifat sementara. Pemadaman berkelanjutan berlangsung lebih lama dari 5 menit. Standar IEEE 1366 memberikan definisi untuk indeks outage tersebut. Indeks ini dihitung dengan menggunakan rincian gangguan yang dialami konsumen yang dikumpulkan dari data tahun lalu atau

beberapa tahun sebelumnya.

Definisi beberapa indeks diberikan di bawah ini:

1. *Sistem Average Interruption Frequency Index (SAIFI)*
2. *Sistem Average Interruption Duration Index (SAIDI)*
3. *Consumer Average Interruption Frequency Index (CAIFI)*
4. *Consumer Average Interruption Duration Index (CAIDI)*
5. *Momentary Average Interruption Frequency Index (MAIFI)*

1. *Sistem Average Interruption Frequency Index (SAIFI)*

SAIFI (IEEE 1366) merupakan nilai Indeks Rata-rata Frekuensi Gangguan Pada Sistem. SAIFI adalah rata-rata jumlah interupsi atau gangguan yang berkelanjutan per konsumen sepanjang tahun. Ini adalah rasio jumlah interupsi atau gangguan tahunan terhadap jumlah konsumen.

SAIFI = (Total jumlah gangguan berkelanjutan dalam setahun) / (Jumlah total konsumen)

$$SAIFI = \frac{\sum(\lambda_i N_i)}{\sum N} \quad (21)$$

Dimana :

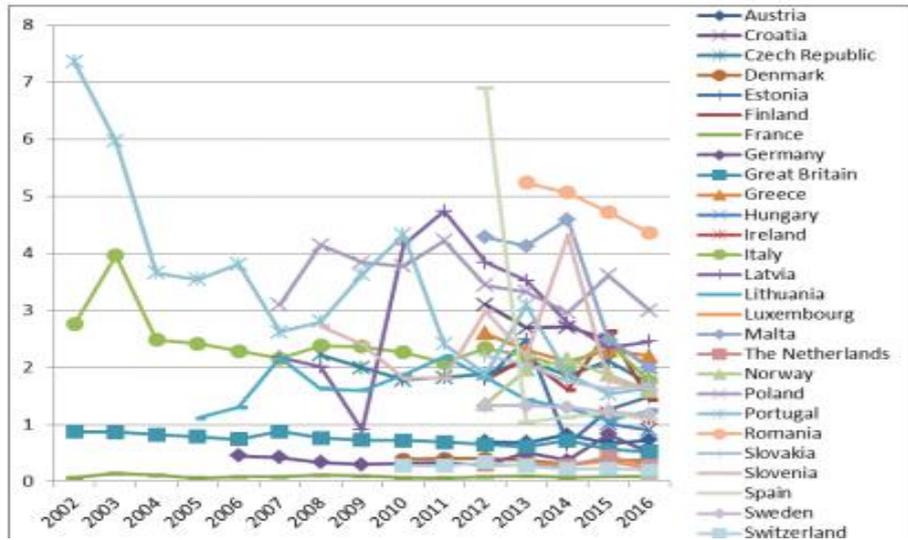
λ_i = frekuensi gangguan

N_i = jumlah konsumen padam

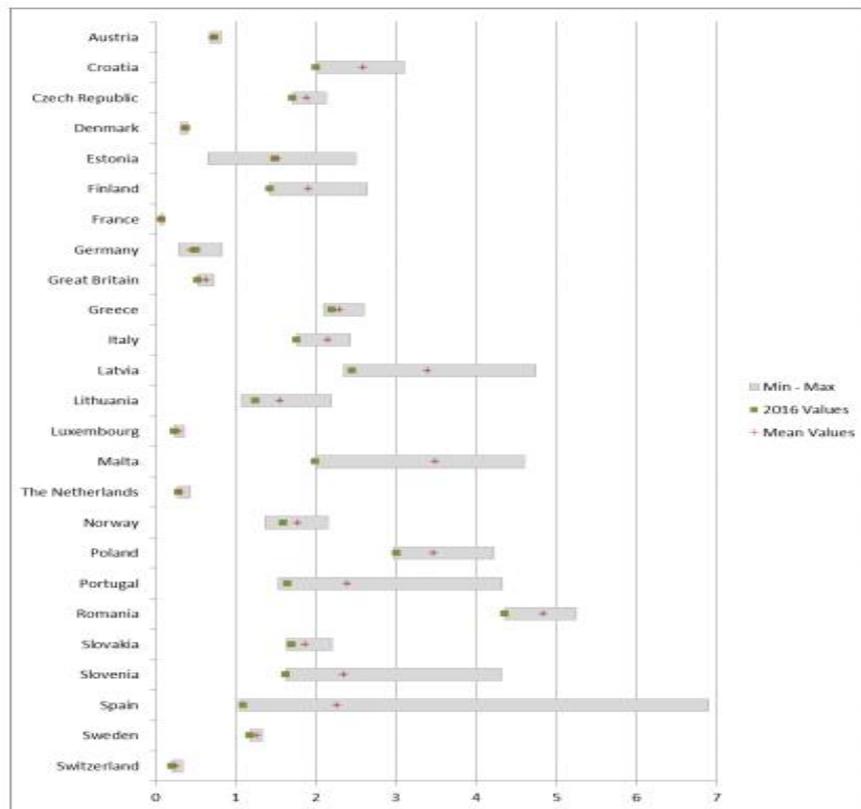
N = Jumlah total konsumen

Berdasarkan data benchmarking dari Negara-negara eropa yang diperoleh dari sumber Council of European Energy Regulator (CEER) , bahwa pencapaian nilai SAIFI di eropa tertinggi pada tahun 2016 adalah 4,4 kali/pelanggan/tahun yng

terjadi di Negara Romania. Berikut gambar grafik pencapaian nilai SAIFI dari tahun 2002-2016.



Gambar 2.8 realisasi SAIFI Negara eropa



Gambar 2.9 Realisasi SAIFI Negara eropa tahun 2016

2. Sistem Average Interruption Duration Index (SAIDI)

SAIDI merupakan nilai Indeks Rata-Rata Durasi atau lamanya gangguan Pada Sistem. SAIDI adalah durasi rata-rata interupsi atau gangguan per konsumen sepanjang tahun. Ini adalah rasio durasigangguan tahunan (berkelanjutan) terhadap jumlah konsumen. Jika durasi ditentukan dalam hitungan menit, SAIDI dinyatakan dalam menit gangguan yang dirasakan konsumen. SAIDI = Total durasi atau lamanya gangguan berkelanjutan dalam setahun / jumlah konsumen. SAIFI & SAIDI merupakan indeks keandalan yang paling banyak digunakan. Survei di Amerika Utara menunjukkan angka SAIFI 1,1 (hal ini menunjukkan 1,1 gangguan / tahun / konsumen) & SAIDI 1,5 jam. Singapura dilaporkan memiliki SAIDI 3 menit. Untuk Singapura mungkin ada pengecualian, karena wilayahnya yang kecil dan tidak berbentuk kepulauan serta cenderung datar, sehingga permasalahan transmisi dan distribusi tidak begitu rumit dan kompleks.

$$SAIDI = \frac{\sum(T_i N_i)}{\sum N} \quad (2.2)$$

Dimana :

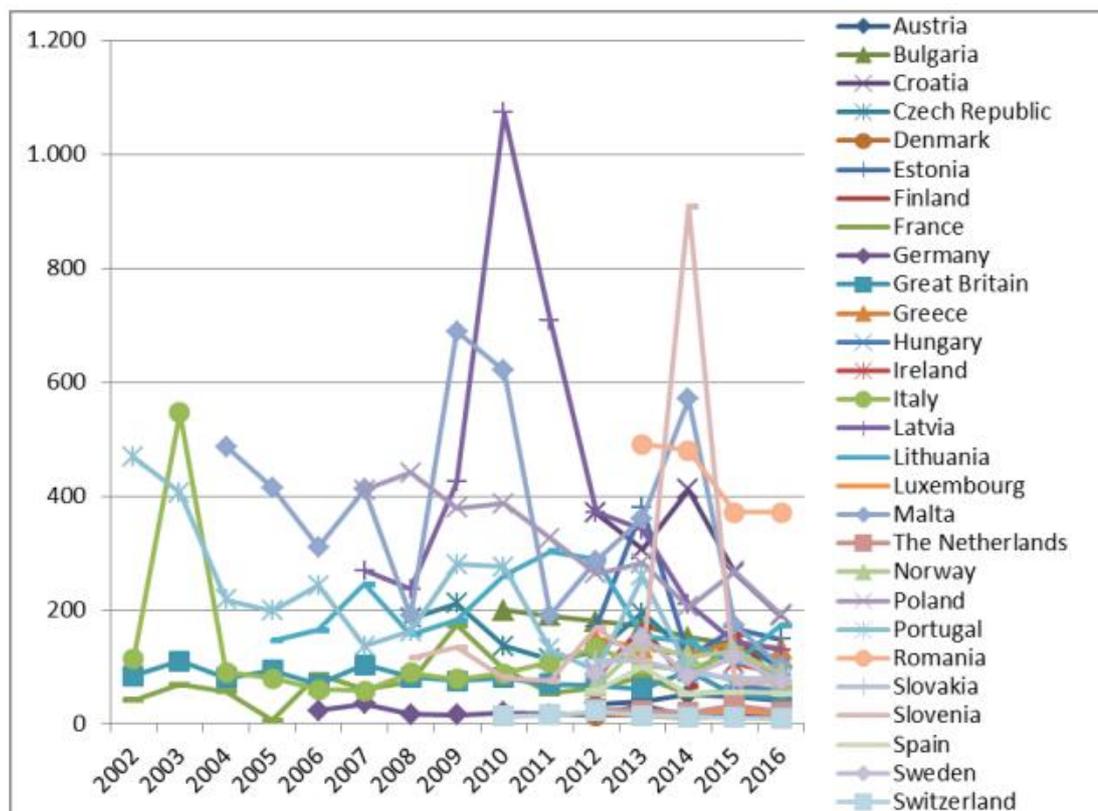
T_i = Durasi/lama gangguan

N_i = jumlah konsumen padam

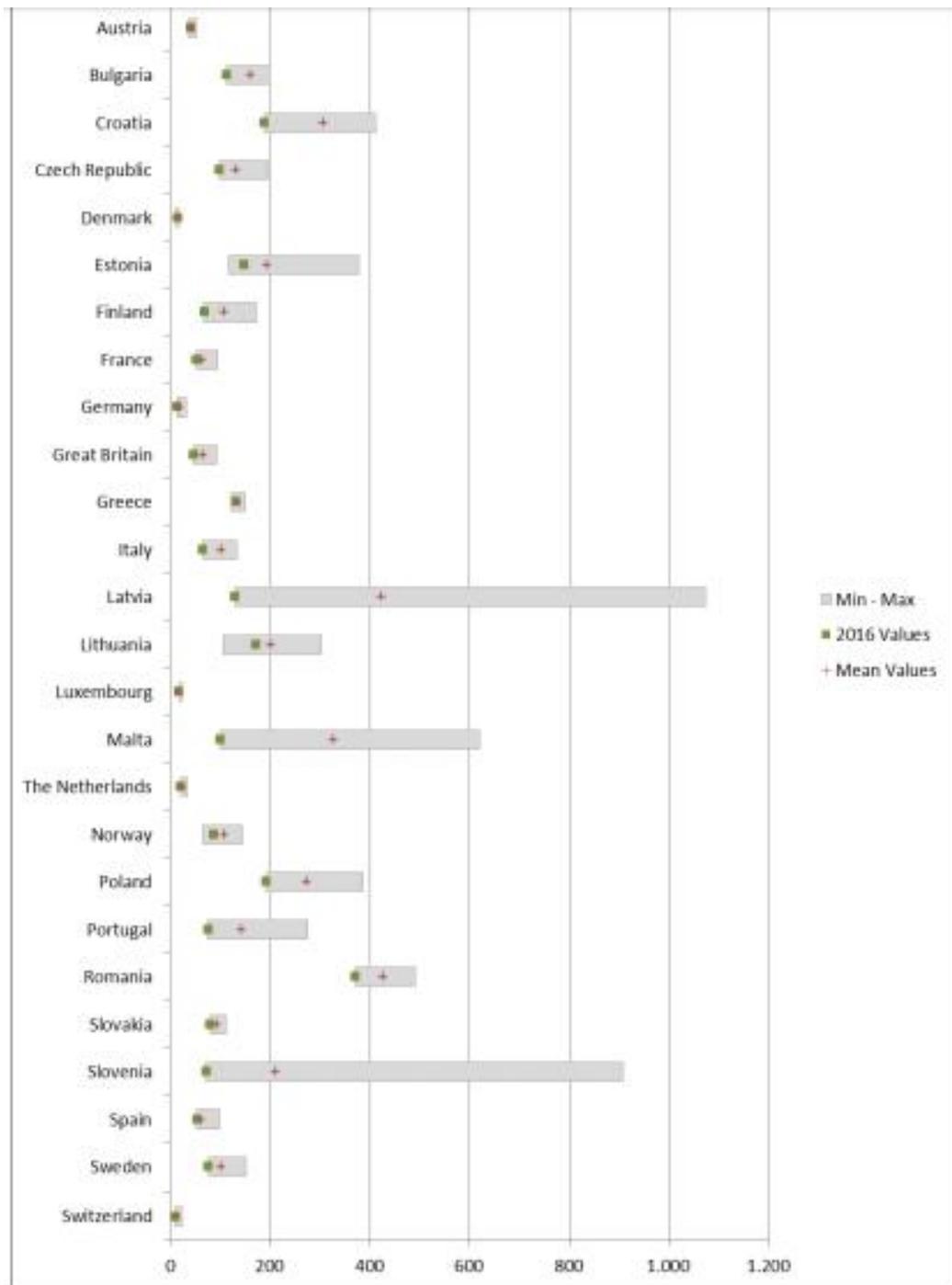
N = Jumlah total konsumen

Berdasarkan data benchmarking dari Negara-negara eropa yang diperoleh dari sumber Council of European Energy Regulator (CEER), bahwa pencapaian nilai

SAIDI di Eropa pada tahun 2016 berada di bawah 400 menit/pelanggan/tahun dan bahkan di beberapa Negara nilai SAIDInya sdh mendekati nol seperti Negara Jerman, Swiss dll. Berikut grafik nilai SAIDI Negara – Negara Eropa dari tahun 2002-2016.



Gambar nilai SAIDI Negara-negara Eropa



Gambar nilai SAIDI Negara-negara Eropa tahun 2016

3. *Consumer Average Interruption Frequency Index (CAIFI)*

CAIFI merupakan Indeks Frekuensi Gangguan Rata-Rata bagi Konsumen yang terkena gangguan tersebut. CAIFI adalah rata-rata jumlah gangguan bagi konsumen yang mengalami gangguan sepanjang tahun. Ini merupakan rasio jumlah interupsi tahunan terhadap jumlah konsumen yang terkena gangguan sepanjang tahun. Konsumen hanya dihitung sekali terlepas dari jumlah interupsi.

Berbeda dengan SAIFI, yang menghitung dengan seluruh konsumen, CAIFI hanya menghitung konsumen yang terkena gangguan saja.

CAIFI = Jumlah gangguan berkelanjutan dalam setahun / Jumlah total konsumen yang terkena dampak.

$$CAIFI = \frac{\sum(\lambda_i N_i)}{\sum N'} \quad (2.3)$$

Dimana :

λ_i = frekuensi gangguan

N_i = jumlah konsumen padam

N' = Jumlah total konsumen yang kena dampak padam

4. *Consumer Average Interruption Duration Index (CAIDI)*

CAIDI merupakan Indeks Durasi atau lamanya gangguan Rata-Rata bagi Konsumen yang terkena gangguan tersebut. CAIDI adalah durasi atau lamanya gangguan rata-rata, dihitung berdasarkan jumlah gangguan berkelanjutan dalam setahun. Ini adalah rasio dari total durasi gangguan terhadap jumlah gangguan selama tahun tersebut.

$$CAIFI = \frac{\sum(TiNi)}{\sum(\lambda iNi)} \dots\dots\dots(2.4)$$

Atau

$$CAIFI = \frac{SAIDI}{SAIFI} \dots\dots\dots(2.5)$$

5. Momentary Average Interruption Frequency Index (MAIFI)

MAIFI merupakan Indeks Frekuensi Gangguan Sesaat Rata-rata. MAIFI adalah jumlah rata-rata gangguan sesaat (kurang dari 5 menit) per konsumen sepanjang tahun. Ini adalah rasio jumlah tahunan gangguan sesaat terhadap jumlah konsumen.

$$MAIFI = \frac{\sum \text{gangguan sesaat dalam setahun}}{\sum \text{total konsumen}} \dots\dots\dots(2.6)$$

F. Energi Listrik

Energi menurut Eugene c. Lister yang di terjemahkan oleh hanapi gunawan (1993) bahwa energi merupakan kemampuan untuk melakukan kerja ,energi merupakan kerja tersimpan .pengertian ini tidak jauh beda dengan ilmu fisika yaitu sebagai kemampuan melakukan usaha (kamajaya 1996)

energi utama yang dibutuhkan bagi peralatan listrik/energi yang tersimpan dalam arus listrik dengan satuan amper (A) dan tegangan listrik dengan satuan Volt (V) dengan ketentuan kebutuhan konsumsi daya listrik dengan satuan Watt (W) untuk menggerakkan motor, lampu penerangan, memanaskan, mendinginkan

ataupun untuk menggerakkan kembali suatu peralatan mekanik untuk menghasilkan bentuk energi yang lain.

Arus Listrik adalah banyaknya muatan listrik yang mengalir tiap satuan waktu. Tegangan listrik adalah perbedaan potensial listrik antara dua titik dalam rangkaian listrik dan dinyatakan dalam satuan volt. Energi listrik adalah besarnya daya yang digunakan selama waktu tertentu

Energi listrik dapat dirumuskan :

$$Q = P \times t \dots\dots\dots (2.7)$$

Q = energy listrik (kWh)

P = Daya Listrik (watt)

T = Waktu (jam).

Sedangkan *ENS (Energy Not Supplied)* yang merupakan penjumlahan dari daya yang tidak tersuplai kepada pelanggan selama periode satu tahun. Ini didefinisikan sebagai penjumlahan energi tidak diberikan karena gangguan terhadap pasokan daya selama periode tahun.

$$ENS = \sum [Gangguan (kW) \times Durasi] \dots\dots\dots (2.8)$$

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

1. Waktu

Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan november sampai januari 2019 dan jenis kegiatan yang dilakukan yaitu pengumpulan alat dan bahan, survei lokasi dan pengambilan data di kawasan industri makassar(KIMA)

2. Tempat pelaksanaan

Tempat pelaksanaan dilakukan di PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pengatur Distribusi (UP2D) Makassar

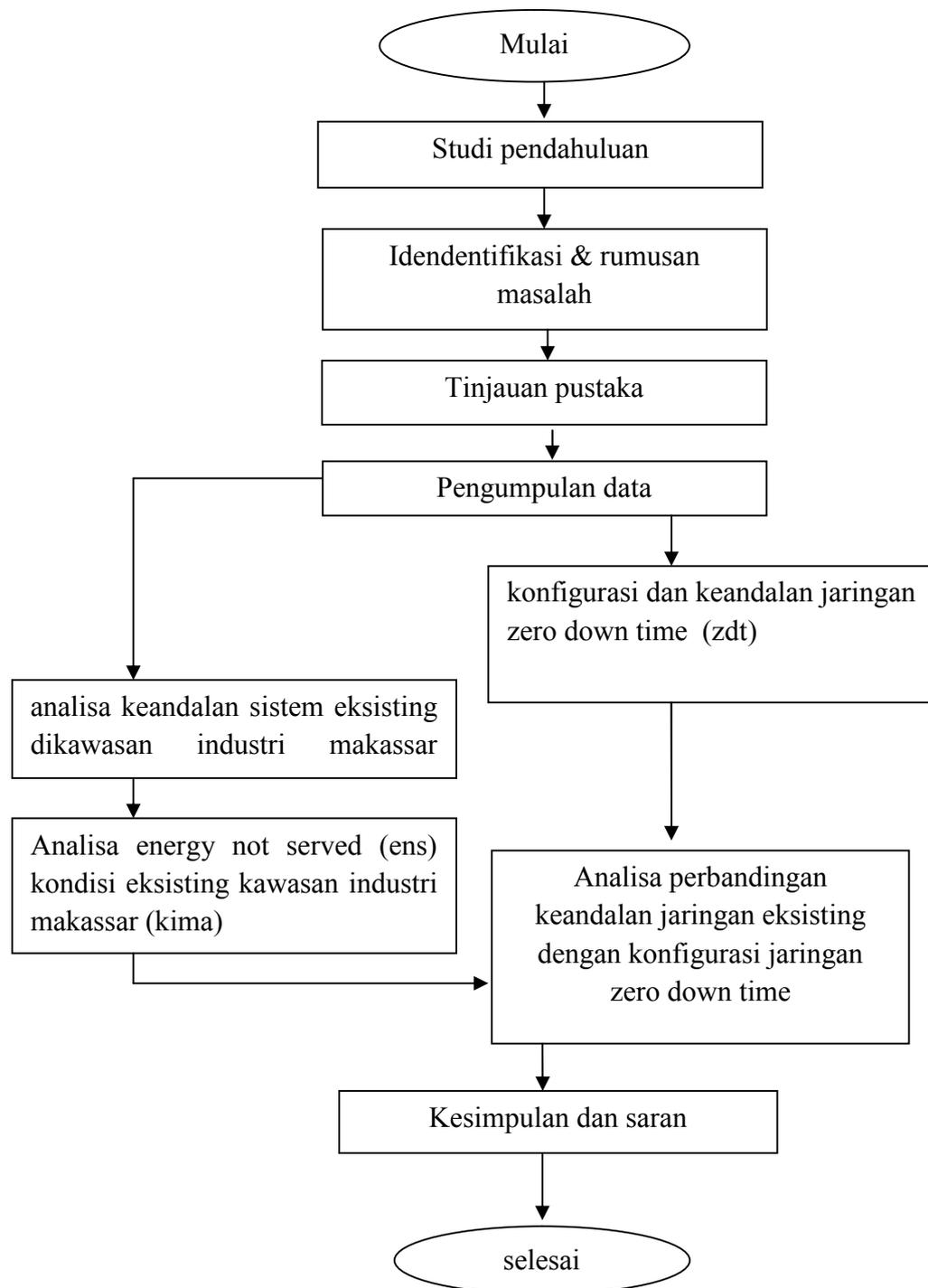
B. Alat dan Bahan

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Laptop
2. Aplikasi etap
3. Microsoft excel

C. Langkah penelitian

Adapun langkah-langkah penelitian dalam penyusunan tugas akhir ini adalah gambar 3.1 sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram metodologi penyusunan tugas akhir

D. Metode penelitian

1. Mengidentifikasi masalah

Adapun yang identifikasi yaitu:

- a. Seberapa besar pengaruh konsep jaringan Zero Down Time terhadap keandalan kelistrikan di Kawasan Industri Makassar.
- b. Adakah perbedaan antara konsep jaringan existing dengan konsep jaringan Zero Down Time di Kawasan Industri Makassar.
- c. Berapa besar finansial bagi Perusahaan Listrik Negara (PLN) dengan dijalankannya konsep jaringan Zero Down Time (ZDT) di Kawasan Industri Makassar (KIMA).

2. Tinjauan pustaka

Dalam studi pustaka ini kami menumpulkan data dengan cara mencari buku, jurnal dan modul yang berkaitan dengan judul penelitian sebagai referensi.

3. Metode pengumpulan data

Untuk mendapatkan data dan informasi yang diperlukan dalam penelitian ini, maka penelitian menggunakan beberapa metode:

- a. Metode Penelitian lapangan

Mengadakan penelitian dan pengambilan data di PT PLN (PERSERO)

UP2D Makassar. Kemudian mengadakan pembahasan/analisa hasil

pengamatan dan menyimpulkan hasil analisa tersebut

- b. Metode Diskusi/Wawancara

Yaitu mengadakan diskusi/wawancara dengan dosen yang lebih

mengetahui bahan yang akan kami bahas atau dengan pihak praktisi di

PT PLN (PERSERO) UP2D Makassar.

4. Analisa keandalan sistem eksisting dikawasan industri makassar

Untuk analisa sistem distribusi di kawasan kima berdasarkan indeks keandalan SAIFI,SAIDI,CAIFI,CAIDI dan MAIFI di PT PLN (PERSERO)UP2D MAKASSAR dan diperlukan data jumlah pelanggan,pelanggan padam ,jumlah gangguan(kali)lama gangguan (jam),beban padam. berdasarkan data-data inilah dilakukan perhitungan niali SAIFI,SAIDI,CAIFI,CAIDI dan MAIFI sebagai berikut:

a. SAIFI

SAIFI (IEEE 1366) merupakan nilai Indeks Rata-rata Frekuensi Gangguan Pada Sistem. SAIFI adalah rata-rata jumlah interupsi atau gangguan yang berkelanjutan per konsumen sepanjang tahun. Ini adalah rasio jumlah interupsi atau gangguan tahunan terhadap jumlah konsumen.

SAIFI = (Total jumlah gangguan berkelanjutan dalam setahun) / (Jumlah total konsumen)

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum N} \dots\dots\dots(3.1)$$

Dimana :

λ_i = frekuensi gangguan

N_i = jumlah konsumen padam

N = Jumlah total konsumen

b. SAIDI

merupakan nilai Indeks Rata-Rata Durasi atau lamanya gangguan Pada

Sistem. SAIDI adalah durasi rata-rata interupsi atau gangguan per konsumen sepanjang tahun. Ini adalah rasio durasi gangguan tahunan (berkelanjutan) terhadap jumlah konsumen

$$SAIDI = \frac{\sum T_i N_i}{\sum N} \dots\dots\dots(3.2)$$

Dimana :

T_i = Durasi/lama gangguan

N_i = jumlah konsumen padam

N = Jumlah total konsumen

c. CAIFI

CAIFI merupakan Indeks Frekuensi padam Rata-Rata bagi Konsumen yang terkena dampak padam tersebut. CAIFI adalah rata-rata kali gangguan bagi konsumen yang mengalami dampak gangguan pada selang waktu tertentu. Rumus CAIFI adalah sebagai berikut:

$$CAIFI = \frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum N'} \dots\dots\dots(3.3)$$

Dimana :

λ_i = frekuensi gangguan

N_i = jumlah konsumen padam

N' = Jumlah total konsumen yang kena dampak pada

d. CAIDI

CAIDI merupakan Indeks yang menginformasikan tentang durasi pemadaman rata-rata konsumen untuk setiap gangguan yang terjadi. CAIDI dapat dirumuskan:

$$CAIDI = \frac{\sum(T_i N_i)}{\sum(\lambda_i N_i)} \dots\dots\dots(3.4)$$

atau

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} \dots\dots\dots(3.5)$$

e. MAIFI

MAIFI merupakan Indeks Frekuensi Gangguan Sesaat Rata-rata. MAIFI adalah jumlah rata-rata gangguan sesaat (kurang dari 5 menit) per konsumen sepanjang tahun. Ini adalah rasio jumlah gangguan sesaat terhadap jumlah konsumen selama periode tertentu. Berbeda dengan perhitungan nilai SAIFI yang memperhitungkan gangguan dengan durasi padam lebih dari 5 menit. Rumus MAIFI sebagai berikut:

$$MAIFI = \frac{\sum(\text{gangguan sesaat dalam setahun})}{\sum(\text{total konsumen})} \dots\dots\dots(3.6)$$

5. Analisa energy not served (ENS) kondisi eksisting kawasan industri makassar (kima)

Analisa ini untuk mengetahui energi yang tak tersalur ke pelanggan kawasan indusri makassar(kima) dengan rumus:

$$ENS = \text{daya Padam} \times \text{lama Padam} \dots\dots\dots(3.7)$$

6. Konfigurasi dan keandalan jaringan zero down time (ZDT)

Untuk mengetahui konsep kerja jaringan Zero down time (ZDT)

dikawasan industri makassar (kima) dan simulasi jaringan menggunakan aplikasi etap

7. Analisa perbandingan keandalan jaringan eksisting dengan konfigurasi jaringan zero down time

Analisa ini untuk mengetahui perbandingan antara jaringan exciting dengan jaringan Zero down time (ZDT) beserta manfaat finansial yang dihasilkan PT PLN (PERSERO).

8. Kesimpulan dan saran

Dari data hasil penelitian yang di dapatkan kita dapat menarik kesimpulan sekaligus memberi saran yang bersifat membangun pada hasil penelitian.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Profile PT PLN (Persero) UP2D Makassar

PLN U2PD Makassar awalnya dibentuk sebagai unit operasi yang menangani sistem SCADA distribusi 20 kV hasil pembangunan *Distribution Control Centre* (DCC) oleh PLN Pikitring Sulawesi, yaitu proyek “*SCADA for Ujungpandang Distribution Sistem*” (Kontrak No 022.PJP/922/1998/M).

Organisasi resmi PLN UP2D Makassar terbit berdasarkan Keputusan Direksi PT PLN (Persero) Nomor : 198.K/010/DIR/2002 tanggal 2 Desember 2002, dimana fungsi dan tugas pokok PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pengatur Distribusi Makassar adalah merencanakan, melaksanakan dan melakukan evaluasi serta membuat laporan atas kegiatan operasi pengaturan jaringan distribusi di daerah kerjanya secara efisien dengan mutu dan keandalan yang baik untuk mencapai target kinerja unit.

Wilayah kerja PLN UP2D Makassar meliputi pengaturan sistem kelistrikan di Sulawesi Selatan, dan Sulawesi Barat dan terbagi menjadi 2 pusat control yakni :

1. *Distribution Control Center* (DCC) Selatan yang mengatur kelistrikan di kota Makassar dan sekitarnya yang terdiri dari 16 Gardu Induk (GI). Single line diagram terlampir.
2. *Distribution Control Center* (DCC) Utara yang mengatur kelistrikan di luar kota Makassar dan sekitarnya dan terdiri dari 16 Gardu Induk (GI). Single line diagram terlampir.



Gambar 4.1. Wilayah kerja PLN UP2D Makassar

Visi PLN (Persero) Unit Pelaksana Pengatur Distribusi Makassar adalah Diakui sebagai Pusat Pengatur Distribusi terkemuka di Indonesia yang unggul, efisien dan andal dengan SDM yang profesional. Sedangkan misinya adalah:

- Mengoperasikan Sistem Distribusi 20 kV secara profesional dengan berbasis teknologi SCADA dan IT yang tepat guna
- Mewujudkan percepatan pemulihan gangguan dan meminimalisir daerah padam untuk menciptakan keandalan sistem yang tinggi
- Menjalankan fungsi sebagai pusat data JTM yang akurat, terkini, dan terpercaya
- Mengembangkan SDM yang pembelajar, inovatif dan beretika

B. Penyulang yang mensuplai Kawasan Industri Makassar (KIMA).

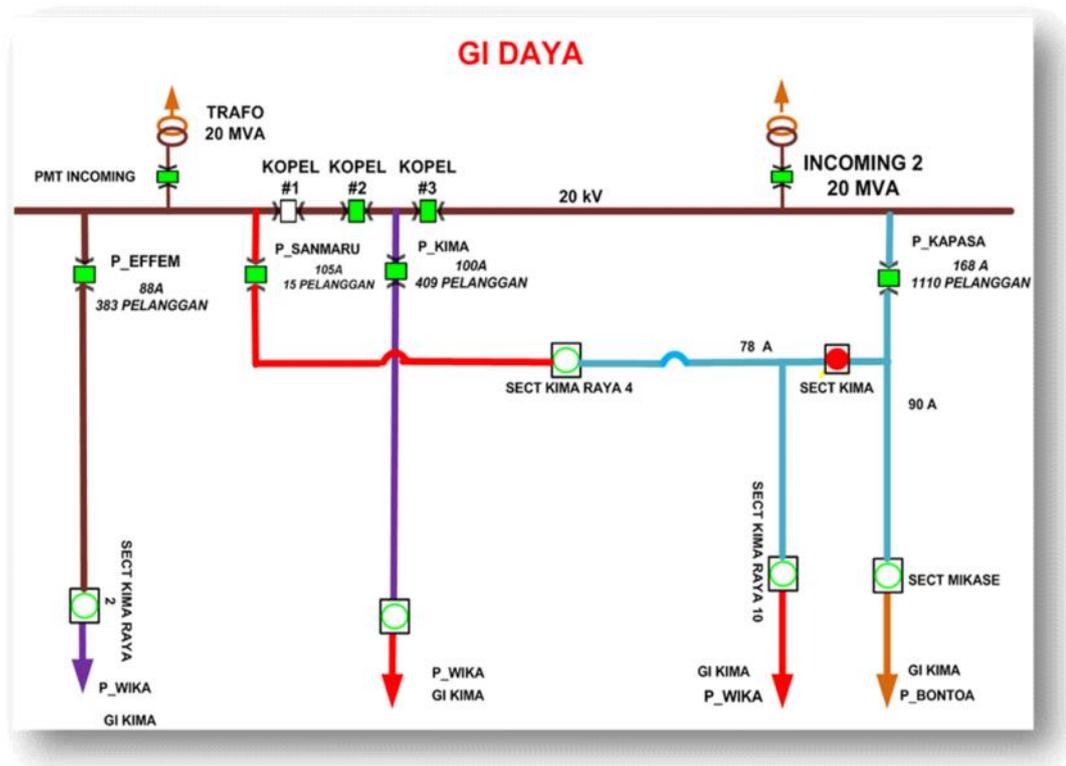
Kawasan Industri Makassar merupakan suatu kawasan yang didesain sebagai tempat pusat industri di Makassar. Roda perekonomian di Sulawesi sangat dipengaruhi oleh besarnya tingkat produksi di kawasan industri Makassar. Ada beberapa penyulang (*feeder*) yang mensuplai kawasan KIMA yang sumbernya

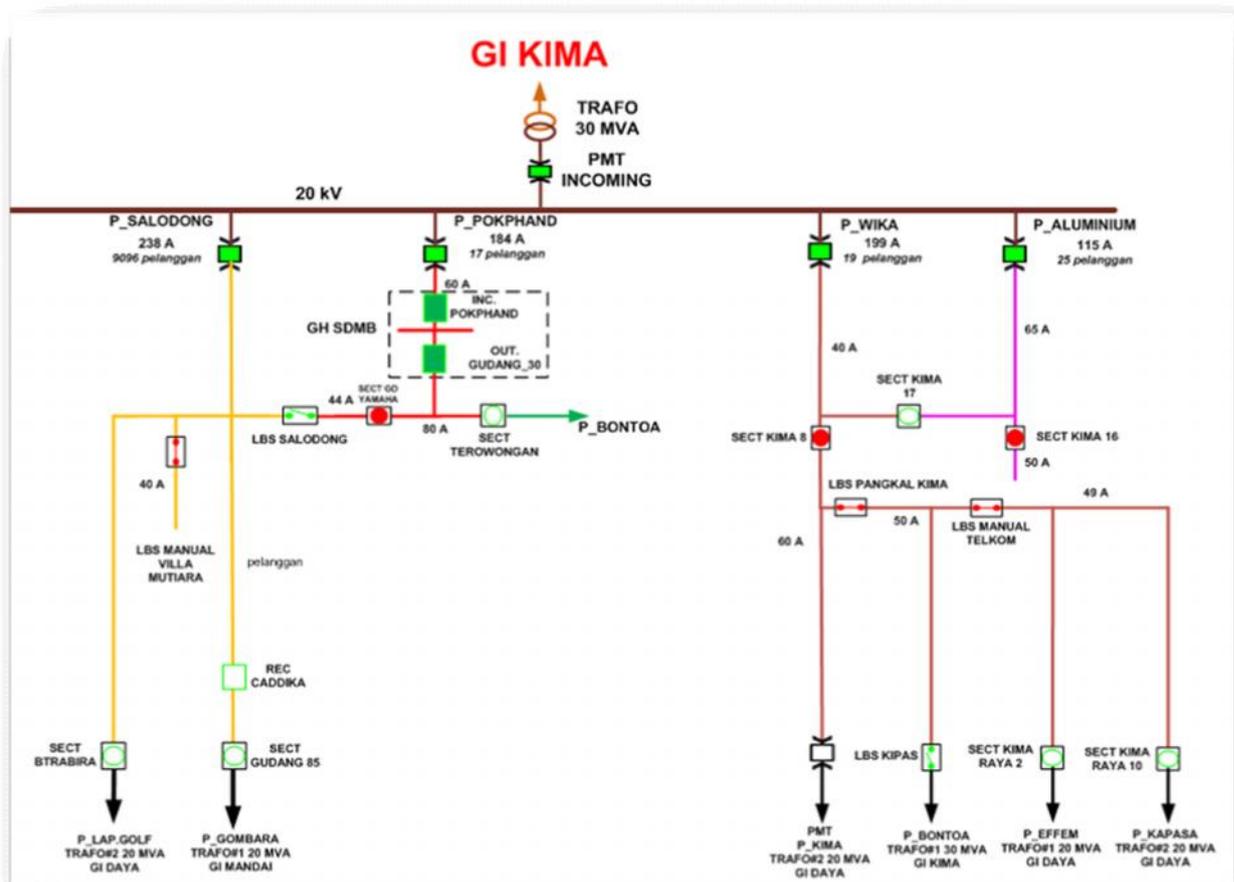
dari GI KIMA dan GI Daya.

Berikut data penyulang-penyulang yang mensuplai kawasan KIMA adalah sebagai berikut:

1. Penyulang Effem merupakan outgoing dari GI Daya
2. Penyulang Sanmaru merupakan outgoing dari GI Daya
3. Penyulang Kima merupakan outgoing dari GI Daya
4. Penyulang Kapasa merupakan outgoing dari GI Daya
5. Penyulang Wika merupakan outgoing dari GI Kima
6. Penyulang Almunium merupakan outgoing dari GI Kima
7. Penyulang Salodong merupakan outgoing dari GI Kima
8. Penyulang pokphand merupakan outgoing dari GI Kima

Berikut adalah Single line diagram existing kawasan industri makassar (KIMA):





Gambar 4.2. Single Line Diagram Kawasan Industri Makassar (KIMA)

Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa pada kondisi eksisting, konfigurasi jaringan distribusi 20 kV di Kawasan Industri Makassar (KIMA) menerapkan konfigurasi jaringan loop. Jaringan loop memiliki kelemahan Jika terjadi gangguan (*short Circuit*) pada jaringan akan menyebabkan pelanggan merasakan padam. Namun bisa dilakukan recovery (penormalan) kurang dari 5 menit untuk segmen jaringan yang tidak ada sumber gangguannya dan sistemnya sudah memiliki fasilitas SCADA. Sebagai contoh, apabila penyulang Wika di GI kima trip, maka semua pelanggan di asuhan penyulang kima akan merasakan padam karena PMT penyulang Wika yang awalnya posisi Close (normally Close)

menjadi posisi lepas yang menyebabkan terputusnya aliran listrik ke pelanggan sehingga menyebabkan semua pelanggan merasakan padam. Pelanggan akan menyala kembali apabila PMT penyulang wika dimasukkan (*close*).

Namun Pelanggan industri sangat tidak mengharapkan terjadinya pemadaman walaupun sifatnya temporer (kurang dari 5 menit), karena sangat mempengaruhi hasil produksi dan mengakibatkan kerusakan bahan baku akibat hilangnya suplai listrik pada saat proses produksi.

C. Jumlah pelanggan masing-masing penyulang di kawasan Industri Makassar (KIMA).

Tabel 4.1 adalah data jumlah pelanggan di kawasan Industri Makassar (KIMA):

Tabel 4.1. Data jumlah pelanggan penyulang kawasan KIMA

| NO | PENYULANG | PELANGGAN |
|--------------|-------------|-----------|
| 1 | P_EFFEM | 383 |
| 2 | P_SANMARU | 15 |
| 3 | P_KIMA | 409 |
| 4 | P_KAPASA | 1110 |
| 5 | P_WIKA | 19 |
| 6 | P_ALUMINIUM | 25 |
| 7 | P_SALODONG | 9096 |
| 8 | P_POKPHAND | 17 |
| TOTAL | | 11074 |

Total Jumlah Pelanggan di kawasan industri Makassar (KIMA) adalah sebesar 11.074 pelanggan. Data ini dapat menggambarkan bahwa sangat besar peluang PLN dalam meningkatkan angka penjualan listrik dan peningkatan revenue (pendapatan) dengan program peningkatan keandalan kelistrikan kawasan KIMA, mengingat besarnya jumlah angka pemadaman selama tahun 2017.

D. Index keandalan sistem distribusi di Kawasan Industri Makassar (KIMA).

Keandalan sistem distribusi tenaga listrik merupakan kemampuan komponen sistem tenaga listrik untuk mengantarkan listrik ke semua konsumen, dalam kuantitas dan dengan kualitas yang sesuai dengan keinginan konsumen. SAIFI, SAIDI, CAIFI, CAIDI dan MAIFI adalah beberapa indeks yang digunakan untuk mengukur keandalan sistem distribusi tenaga listrik

Tabel 4.2. Data penyulang KIMA pada sistem makassar

| NO | PENYULANG | KALI PELANGGAN PADAM $\Sigma(\lambda_i N_i)$ | LAMA PADAM x PELANGGAN PADAM $\Sigma(T_i N_i)$ | PELANGGAN PADAM <5 MNT |
|--------------------|-------------|---|---|------------------------|
| 1 | P_EFFEM | 9323.2 | 760116.0 | 1686.01 |
| 2 | P_SANMARU | 512.8 | 33841.7 | 167.60 |
| 3 | P_KIMA | 5026.6 | 324603.1 | 687.12 |
| 4 | P_KAPASA | 25596.7 | 3141498.4 | 27247.70 |
| 5 | P_WIKA | 646.1 | 80532.9 | 1140.14 |
| 6 | P_ALUMINIUM | 2901.6 | 253092.5 | 324.01 |
| 7 | P_SALODONG | 325053.6 | 27447574.7 | 219828.92 |
| 8 | P_POKPHAND | 1218.0 | 91678.5 | 1091.93 |
| NILAI TOTAL | | 370279 | 32132937.8 | 252173,4 |

Dengan melihat data Tabel 4.2 maka bisa di dapatkan Nilai SAIFI, SAIDI , CAIFI, CAIDI dan MAIFI pada penyulang Kawasan industri makassar(kima) dengan cara:

1. *Sistem Average Interruption Frequency Index (SAIFI)*

SAIFI dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$SAIFI = \frac{\sum(\lambda_i N_i)}{\sum N} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

λ_i = frekuensi gangguan

N_i = jumlah konsumen padam

N = Jumlah total konsumen

a) Nilai SAIFI pada sistem kelistrikan kota Makassar tahun 2017

Diketahui:

- Total jumlah kali padam konsumen untuk sistem distribusi di kota Makassar yang durasi padamnya lebih dari 5 menit (gangguan permanen) adalah sebesar 22,092,433.27 Kali (lampiran 1).
- total konsumen di sistem Makassar adalah 852.531 pelanggan (lampiran 2).

Sehingga Nilai SAIFI pada sistem kelistrikan kota Makassar tahun 2017 adalah sebesar:

$$SAIFI \text{ system} = \text{durasi padam } >5 \text{ menit} / \text{Total konsumen sistem makassar}$$

$$SAIFI \text{ sistem} = 22,092,433.27 \text{ Kali} / 852.531 \text{ pelanggan}$$

= 25.9 Kali per pelanggan per tahun

= 0,434 Kali/pelanggan/tahun

b) Nilai SAIFI Sistem KIMA

Diketahui :

- besarnya total pelanggan di KIMA adalah sebesar 11.074 pelanggan (Tabel 4.1)
- Sedangkan total kali padam tiap penyulang di KIMA dan total lama durasi padam pelanggan (Tabel 4.2)

$$SAIFIEFFEM = \frac{\sum(\lambda_i N_i)}{\sum N}$$

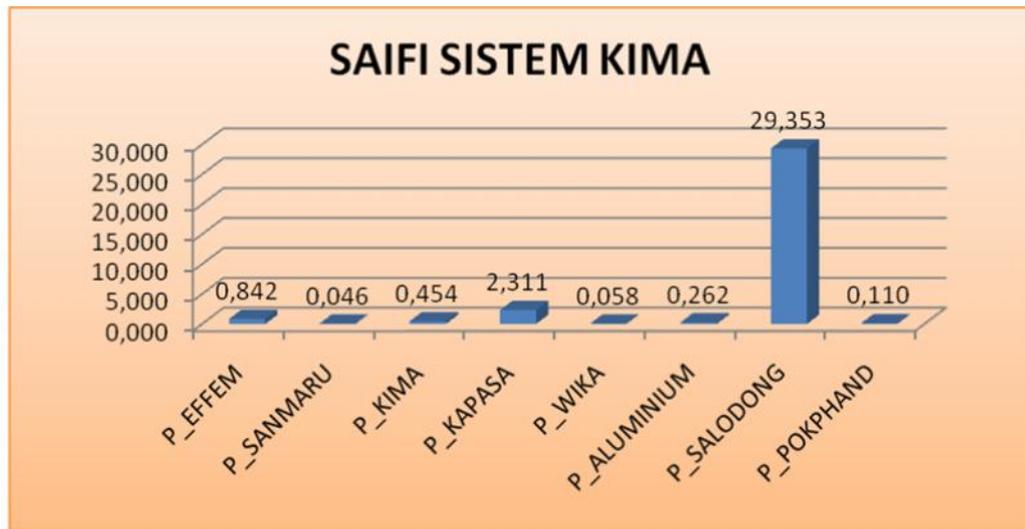
= 9323/11.074

= 0, 842 Kali/pelanggan/tahun

Dengan metode perhitungan yang sama seperti di atas, maka diperoleh nilai SAIFI tiap penyulang di KIMA seperti pada tabel 4.3 di bawah ini:

Tabel 4.3 nilai SAIFI sistem KIMA (Terhadap pelanggan KIMA)

| NO | PENYULANG | PELANGGAN PADAM/TAHUN $\sum(\lambda_i N_i)$ | SAIFI |
|--------------|-------------|---|-------------|
| 1 | P_EFFEM | 9323 | 0.842 |
| 2 | P_SANMARU | 513 | 0.046 |
| 3 | P_KIMA | 5027 | 0.454 |
| 4 | P_KAPASA | 25597 | 2.311 |
| 5 | P_WIKA | 646 | 0.058 |
| 6 | P_ALUMINIUM | 2902 | 0.262 |
| 7 | P_SALODONG | 325054 | 29.353 |
| 8 | P_POKPHAND | 1218 | 0.110 |
| TOTAL | | 370279 | 33.4 |



Gambar 4.3 . Grafik SAIFI KIMA

Dari gambar grafik 4.3 di atas dapat diketahui bahwa penyulang Salodong merupakan penyulang yang paling berkontribusi besar terhadap realisasi nilai SAIFI di kawasan KIMA.

c) Nilai SAIFI Penyulang kawasan industri makassar

Diketahui:

- Jumlah kali pelanggan padam penyulang kima(tabel 4.2)
- Total pelanggan system makassar(lampiran 2)

SAIFI Penyulang kima = jumlah kali pelanggan padam / total pelanggan sistem makassar

1. SAIFI penyulang Effem = $9323.2/852.531$
= 0.0109Kali/pelanggan/tahun
2. SAIFI penyulang Sanmaru = $512.8/852.531$
=0.0006Kali/pelanggan/tahun
3. SAIFI penyulang Kima = $5026.6/852.531$
= 0.0059Kali/pelanggan/tahun

Untuk perhitungan nilai SAIFI penyulang-penyulang yang lain dapat dihitung dengan cara yang sama, sehingga dapat diperoleh nilai SAIFI pada setiap penyulang di KIMA (Tabel 4.9)

2. *Sistem Average Interruption Duration Index (SAIDI)*

SAIDI dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$SAIDI = \frac{\sum TiNi}{\sum N} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

Ti = Durasi/lama gangguan

Ni = jumlah konsumen padam

N = Jumlah total konsumen

a) Nilai SAIDI pada sistem kelistrikan kota Makassar tahun 2017

Nilai SAIDI pada sistem Makassar:

Diketahui :

- Jumlah pelanggan total adalah 852.531 pelanggan(lampiran 1)
- $\sum(\text{Durasi padam} \times \text{pelanggan Padam}) = 1,822,742,694.06$ menit/tahun, (lampiran 1)

sehingga:

$$SAIDI \text{ sistem Makassar tahun } 2017 = 1,822,742,694.06 / 852.531$$

$$= 2138 \text{ menit/pelanggan/tahun}$$

Jadi Nilai SAIDI pada sistem kelistrikan kota Makassar tahun 2017 adalah sebesar 2.138 menit per pelanggan pertahun.

b) Nilai SAIDI Sistem KIMA

Diketahui :

- besarnya total pelanggan di KIMA adalah sebesar 11.074 pelanggan(Tabel 4.1)
- sedangkan Total durasi padam pelanggan tiap penyulang di KIMA tahun 2017 (Tabel 4.2)

$$\begin{aligned} \text{SAIDI}_{\text{effem}} &= \frac{\sum(T_i N_i)}{\sum N} \\ &= 760116 / 11074 \\ &= 68,6 \end{aligned}$$

Dengan metode perhitungan yang sama seperti di atas, maka diperoleh nilai SAIDI tiap penyulang di KIMA seperti pada tabel 4.4 di bawah ini:

Tabel 4.4. SAIDI sistem KIMA

| NO | PENYULANG | LAMA PADAM x PELANGGAN PADAM | SAIDI |
|--------------|-------------|------------------------------|--------------|
| 1 | P_EFFEM | 760116 | 68.6 |
| 2 | P_SANMARU | 33842 | 3.1 |
| 3 | P_KIMA | 324603 | 29.3 |
| 4 | P_KAPASA | 3141498 | 283.7 |
| 5 | P_WIKA | 80533 | 7.3 |
| 6 | P_ALUMINIUM | 253092 | 22.9 |
| 7 | P_SALODONG | 27447575 | 2478.6 |
| 8 | P_POKPHAND | 91678 | 8.3 |
| TOTAL | | 32,132,938 | 2,902 |

c) Nilai SAIDI Penyulang kawasan industri makassar

$$\text{SAIDI Penyulang kima} = \frac{\sum(\text{Durasi padam} \times \text{pelanggan Padam})}{\text{Jumlah total konsumen}}$$

Diketahui :

- Jumlah pelanggan total adalah 852.531 pelanggan(lampiran 1)
- $\sum(\text{Durasi padam} \times \text{pelanggan Padam}) =$ lihat Tabel 4.2

Sehingga:

1. Nilai SAIDI Penyulang Effem = $760116.0 / 852.531$
= 0.892 menit/pelanggan/tahun
2. Nilai SAIDI Penyulang Sanmaru = $33841.7 / 852.531$
= 0.040 menit/pelanggan/tahun
3. Nilai SAIDI Penyulang Kima = $324603.1 / 852.531$
= 0.381 menit/pelanggan/tahun

Untuk perhitungan nilai SAIDI penyulang-penyulang yang lain dapat dihitung dengan cara yang sama, sehingga dapat diperoleh nilai SAIDI pada setiap penyulang di KIMA (Tabel 4.9)

3. *Consumer Average Interruption Frequency Index (CAIFI)*

Rumus CAIFI adalah sebagai berikut:

$$CAIFI = \frac{\sum(\lambda_i N_i)}{\sum N'} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

λ_i = frekuensi gangguan

N_i = jumlah konsumen padam

N' = Jumlah total konsumen yang kena dampak padam

a).Nilai CAIFI Sistem makassar 2017

Diketahui :

- jumlah pelanggan padam dalam sistem kelistrikan Makassar tahun 2017 adalah 22,092,433.27 Kali/tahun.(lampiran 1)
- Jumlah pelanggan yang pernah merasakan padam di atas 5 menit adalah 844340 pelanggan (lampiran 1)

sehingga:

$$\text{CAIFI sistem Makassar tahun 2017} = \frac{22,092,433.27}{844340}$$

$$= 26,17 \text{ kali/pelanggan kena dampak/tahun}$$

$$= 26,17 \text{ kali/pelanggan kena dampak/tahun}$$

b). Nilai CAIFI Sistem KIMA

Diketahui :

- besarnya total pelanggan di KIMA adalah sebesar 11.074 pelanggan (tabel 4.1)
- total pelanggan KIMA yg kena dampak padam di atas 5 menit (tabel 4.3)

$$\text{CAIFLeffem} = \frac{\sum (\lambda_i N_i)}{\sum N}$$

$$\text{CAIFI effem} = 9323/11.074$$

$$= 0.842 \text{ kali/pelanggan/tahun}$$

Dengan cara yang sama diperoleh nilai CAIFI masing-masing penyulang di KIMA seperti pada tabel 4.5 di bawah :

Tabel 4.5. Nilai CAIFI Sistem KIMA

| NO | PENYULANG | PELANGGAN PADAM/TAHUN | CAIFI |
|--------------|-------------|-----------------------|-------------|
| 1 | P_EFFEM | 9323 | 0.842 |
| 2 | P_SANMARU | 513 | 0.046 |
| 3 | P_KIMA | 5027 | 0.454 |
| 4 | P_KAPASA | 25597 | 2.311 |
| 5 | P_WIKA | 646 | 0.058 |
| 6 | P_ALUMINIUM | 2902 | 0.262 |
| 7 | P_SALODONG | 325054 | 29.353 |
| 8 | P_POKPHAND | 1218 | 0.110 |
| TOTAL | | 370279 | 33.4 |

c). nilai CAIFI masing-masing penyulang di kawasan KIMA adalah:

Diketahui:

- jumlah pelanggan padam penyulang kima(tabel 4.2)
- Jumlah pelanggan yang pernah merasakan padam di atas 5 menit adalah 844340 pelanggan (lampiran 1)

1. Nilai CAIFI penyulang EFFEM

$$\begin{aligned} \text{CAIFI penyulang Effem} &= 9.323/844340 \\ &= 0.011 \text{ Kali/pelanggan/tahun} \end{aligned}$$

2. Nilai CAIFI penyulang Sanmaru

$$\begin{aligned} \text{SAIFI penyulang Sanmaru} &= 513/844340 \\ &= 0.001 \text{ Kali/pelanggan/tahun} \end{aligned}$$

3. Nilai CAIFI penyulang Kima

$$\begin{aligned} \text{SAIFI penyulang Kima} &= 5027/844340 \\ &= 0.006 \text{ Kali/pelanggan/tahun} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan nilai CAIFI penyulang-penyulang yang lain dapat dihitung dengan cara yang sama, sehingga dapat diperoleh nilai CAIFI pada setiap penyulang di KIMA (Tabel 4.9)

4. ***Consumer Average Interruption Duration Index (CAIDI)***

CAIDI dapat dirumuskan:

$$\text{CAIDI} = \frac{\sum(T_i N_i)}{\sum(\lambda_i N_i)} \dots\dots\dots(2.4)$$

Atau

$$\text{CAIDI} = \frac{\text{SAIDI}}{\text{SAIFI}} \dots\dots\dots(2.5)$$

a). Nilai caidi sistem makassar 2017

Diketahui:

- Nilai SAIDI sistem makassar 2017(lampiran 2)
- Nilai SAIFI sistem makassar 2017(lampiran 2)

Sehingga:

$$\begin{aligned} \text{CAIDI SISTEM MAKASSAR} &= \frac{2138 \text{menit /plgn/tahun}}{25.91 \text{kali/pelanggan/tahun}} \\ &= 82,5 \text{ menit/plgn/tahun} \end{aligned}$$

b).Nilai CAIDI Sistem KIMA

Diketahui data nilai saifi dan saidi persistem kima tabel 4.6 :

Tabel 4.6 Data Nilai SAIFI DAN SAIDI persistem kima

| NO | PENYULANG | SAIFI | SAIDI |
|--------------|-------------|-------------|--------------|
| 1 | P EFFEM | 0.842 | 68.6 |
| 2 | P SANMARU | 0.046 | 3.1 |
| 3 | P KIMA | 0.454 | 29.3 |
| 4 | P KAPASA | 2.311 | 283.7 |
| 5 | P WIKA | 0.058 | 7.3 |
| 6 | P ALUMINIUM | 0.262 | 22.9 |
| 7 | P SALODONG | 29.353 | 2478.6 |
| 8 | P POKPHAND | 0.110 | 8.3 |
| TOTAL | | 33.4 | 2,902 |

Sehingga:

$$\text{CAIDI}_{\text{effem}} = \frac{\text{SAIDI}}{\text{SAIFI}}$$

$$\text{CAIDI EFFEM} = 68,6 / 0,842$$

$$= 81,530 \text{ Menit/pelanggan/tahun}$$

Untuk perhitungan nilai CAIDI penyulang sistem kima yang lain dapat dihitung dengan cara yang sama, sehingga dapat diperoleh nilai CAIDI pada setiap penyulang di KIMA (Tabel 4.7)

Tabel 4.7 Nilai caidi persistem kima

| NO | PENYULANG | SAIFI | SAIDI | CAIDI |
|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| 1 | P_EFFEM | 0.842 | 68.6 | 81.530 |
| 2 | P_SANMARU | 0.046 | 3.1 | 65.997 |
| 3 | P_KIMA | 0.454 | 29.3 | 64.577 |
| 4 | P_KAPASA | 2.311 | 283.7 | 122.731 |
| 5 | P_WIKA | 0.058 | 7.3 | 124.639 |
| 6 | P_ALUMINIUM | 0.262 | 22.9 | 87.226 |
| 7 | P_SALODONG | 29.353 | 2478.6 | 84.440 |
| 8 | P_POKPHAND | 0.110 | 8.3 | 75.268 |
| TOTAL | | 33.4 | 2,902 | 86.78 |

c). Nilai caidi penyulang kima 2017

diketahui:

- Nilai SAIDI penyulang kima 2017(Tabel 4.9)
- Nilai SAIFI penyulang kima 2017(Tabel 4.9)

Sehingga:

1. Nilai CAIDI penyulang EFFEM

$$\begin{aligned} \text{CAIDI penyulang Effem} &= 0,892/0,011 \\ &= 81,53 \text{ Menit/pelanggan/tahun} \end{aligned}$$

2. Nilai CAIDI penyulang Sanmaru

$$\begin{aligned} \text{CAIDI penyulang Effem} &= 0,0396/0,0006 \\ &= 65,997 \text{ Menit/pelanggan/tahun} \end{aligned}$$

3. Nilai CAIDI penyulang Kima

$$\begin{aligned} \text{CAIDI penyulang Effem} &= 0,0381/0,006 \\ &= 64,58 \text{ Menit/pelanggan/tahun} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan nilai CAIDI penyulang-penyulang yang lain dapat dihitung dengan cara yang sama, sehingga dapat diperoleh nilai CAIDI pada setiap penyulang di KIMA (Tabel 4.9)

5. *Momentary Average Interruption Frequency Index (MAIFI)*

$$\text{MAIFI} = (\text{Jumlah total gangguan sesaat dalam setahun}) / (\text{Jumlah total konsumen} \dots \dots \dots (2.6)$$

a). Nilai MAIFI sistem makassar 2017

Diketahui :

- Jumlah total gangguan sesaat dalam setahun pada sistem Makassar adalah 37,489,359.17 kali (Lampiran 1).
- Total Pelanggan 852531 pelanggan(Lampiran 2)

Sehingga:

$$\begin{aligned} \text{MAIFI sistem makassar 2017} &= \frac{37,489,359.17}{852531} \\ &= 43,97 \text{ Kali/pelanggan/tahun} \end{aligned}$$

b).MAIFI sistem KIMA

Diketahui :

- jumlah total pelanggan KIMA adalah 11.074 pelanggan(tabel 4.1).`
- dan data pelanggan padam <5 menit (tabel 4.2)

Sehingga:

MAIFI = (Jumlah total gangguan sesaat dalam setahun) / (Jumlah total konsumen kima)

$$\begin{aligned} \text{MAIFI Effem} &= 1686,01 / 11074 \\ &= 0,1522 \text{ Kali/pelanggan/tahun} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan nilai MAIFI penyulang sistem makassar yang lain dapat dihitung dengan cara yang sama, sehingga dapat diperoleh nilai MAIFI pada setiap penyulang di sistem KIMA (Tabel 4.8)

Tabel 4.8 . Nilai MAIFI kawasan KIMA

| NO | PENYULANG | PELANGGAN PADAM <5 MNT | MAIFI |
|--------------|-------------|------------------------|--------------|
| 1 | P_EFFEM | 1686.01 | 0.1522 |
| 2 | P_SANMARU | 167.60 | 0.0151 |
| 3 | P_KIMA | 687.12 | 0.0620 |
| 4 | P_KAPASA | 27247.70 | 2.4605 |
| 5 | P_WIKA | 1140.14 | 0.1030 |
| 6 | P_ALUMINIUM | 324.01 | 0.0293 |
| 7 | P_SALODONG | 219828.92 | 19.8509 |
| 8 | P_POKPHAND | 1091.93 | 0.0986 |
| TOTAL | | 252,173 | 22.77 |

c). Nilai MAIFI penyulang kima 2017

Diketahui :

- Jumlah total gangguan sesaat dalam setahun pada penyulang kima(tabel 4.2)
- Total Pelanggan 852531 pelanggan(Lampiran 2)

Sehingga:

1. Nilai maifi penyulang effem

Maifi penyulang effem : $1686,01/852531$

: 0.0020 Kali/pelanggan/tahun

2. Nilai maifi penyulang sanmaru

Maifi penyulang sanmaru : $167,60/852531$

: 0.0002 Kali/pelanggan/tahun

3. Nilai maifi penyulang kima

Maifi penyulang kima : $687.12 /852531$

: 0.0008 Kali/pelanggan/tahun

Untuk perhitungan nilai MAIFI penyulang-penyulang yang lain dapat dihitung dengan cara yang sama, sehingga dapat diperoleh nilai MAIFI pada setiap penyulang di KIMA (Tabel 4.9) di bawah ini

Dari analisa perhitungan beberapa indeks keandalan diatas seperti SAIDI,SAIFI,CAIFI,CAIDI dan MAIFI dapat di tuangkan dalam tabel 4.9 dibawah ini

Tabel 4.9. Rekapitulasi indeks keandalan KIMA pada sistem makassar

| NO | PENYULANG | KALI PELANGGAN PADAM $\sum(\lambda_i N_i)$ | LAMA PADAM x PELANGGAN PADAM $\sum(T_i N_i)$ | SAIFI $\frac{\sum(\lambda_i N_i)}{\sum N}$ | SAIDI | CAIFI | CAIDI | PELANGGAN PADAM <5 MNT | MAIFI | % SAIFI | %SAIDI |
|--------------------|-------------|--|--|--|----------------|--------------|---------|------------------------|---------------|-----------|-----------|
| 1 | P_EFFEM | 9323 | 760116 | 0,0109 | 0,8916 | 0,011 | 81,530 | 1686,01 | 0,0020 | 0,04% | 0,04% |
| 2 | P_SANMARU | 513 | 33842 | 0,0006 | 0,0397 | 0,001 | 65,997 | 167,60 | 0,0002 | 0,00% | 0,00% |
| 3 | P_KIMA | 5027 | 324603 | 0,0059 | 0,3808 | 0,006 | 64,577 | 687,12 | 0,0008 | 0,02% | 0,02% |
| 4 | P_KAPASA | 25597 | 3141498 | 0,0300 | 3,6849 | 0,030 | 122,731 | 27247,70 | 0,0320 | 0,12% | 0,17% |
| 5 | P_WIKA | 646 | 80533 | 0,0008 | 0,0945 | 0,001 | 124,639 | 1140,14 | 0,0013 | 0,00% | 0,00% |
| 6 | P_ALUMINIUM | 2902 | 253092 | 0,0034 | 0,2969 | 0,003 | 87,226 | 324,01 | 0,0004 | 0,01% | 0,01% |
| 7 | P_SALODONG | 325054 | 27447575 | 0,3813 | 32,1954 | 0,385 | 84,440 | 219828,92 | 0,2579 | 1,47% | 1,51% |
| 8 | P_POKPHAND | 1218 | 91678 | 0,0014 | 0,1075 | 0,001 | 75,268 | 1091,93 | 0,0013 | 0,01% | 0,01% |
| NILAI TOTAL | | 370279 | 32132938 | 0,4343 | 37,6912 | 0,439 | 86,780 | 252173,4 | 0,2958 | 2% | 2% |

Berdasarkan analisa data tabel 4.9 dapat diketahui bahwa di kawasan Industri Makassar cukup sering mengalami padam baik yang disebabkan oleh pemadaman terencana maupun padam tidak terencana.

1. Padam Tidak Terencana

Yang termasuk kategori padam yang tidak terencana adalah:

a. Padam akibat gangguan hubung singkat (short circuit) di jaringan.

Gangguan ini menyebabkan relai proteksi bekerja dan memerintahkan PMT di Gardu Induk trip (Open). Gangguan hubung singkat bisa terjadi di jaringan transmisi dan jaringan distribusi. Gangguan hubung singkat terbagi menjadi :

- Gangguan phasa-phasa (OCR).
- Gangguan phasa ke tanah (GFR)
- Gangguan phasa phasa dan phasa ke tanah (OCR dan GFR).

b. Padam akibat gangguan pembangkit. Gangguan pembangkit dapat menimbulkan tripnya unit pembangkit sehingga besarnya pembangkit listrik yang tersedia lebih kecil dari beban yang dipikul sehingga menyebabkan frekuensi sistem turun dan relai Under frekuensi (UFR) bekerja untuk memerintahkan PMT trip (open). Penyulang yang masuk dalam tahapan UFR dipilih berdasarkan kondisi island sistem .

2. Padam Terencana

Pemadaman terencana biasanya disebabkan oleh adanya Pemeliharaan pembangkit (Overhaul) dan Pemeliharaan jaringan. Pada umumnya informasi pemadaman terencana akibat pemeliharaan dipublikasikan terlebih dahulu di

media sosial agar pelanggan mengetahui akan terjadi padam.

Tabel 4.10 di bawah ini menggambarkan besarnya angka gangguan penyulang yang mensuplai kawasan Industri Makassar (KIMA) pada tahun 2017

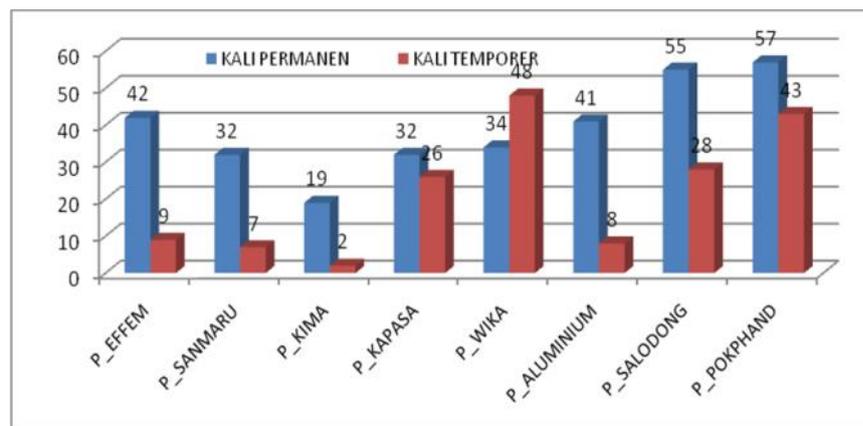
Tabel 4.10. Data gangguan kawasan KIMA pada tahun 2017

| NO | PENYULANG | PERMANEN | | TEMPORER | | ENS (kWh) |
|--------------|-------------|------------|----------------|------------|--------------|-----------------|
| | | KALI | LAMA (MENIT) | KALI | LAMA (MENIT) | |
| 1 | P_EFFEM | 42 | 3248.6 | 9 | 22.0 | 86584.1 |
| 2 | P_SANMARU | 32 | 2627.8 | 7 | 10.5 | 71270.2 |
| 3 | P_KIMA | 19 | 1324.9 | 2 | 5.3 | 36738.7 |
| 4 | P_KAPASA | 32 | 3008.9 | 26 | 28.1 | 130417.2 |
| 5 | P_WIKA | 34 | 3948.1 | 48 | 48.7 | 202274.5 |
| 6 | P_ALUMINIUM | 41 | 3498.2 | 8 | 15.8 | 89122.5 |
| 7 | P_SALODONG | 55 | 4544.7 | 28 | 34.1 | 95647.6 |
| 8 | P_POKPHAND | 57 | 4674.1 | 43 | 38.8 | 143568.4 |
| TOTAL | | 312 | 26875.2 | 171 | 203.3 | 855623.2 |

Dari tabel 4.10 diketahui bahwa pada tahun 2017 total kali padam di daerah kawasan KIMA sebanyak 312 kali untuk kategori gangguan permanen (lebih dari 5 menit), berarti rata-rata hampir tiap hari ada gangguan 1 kali di kawasan KIMA. Penyulang yang memiliki angka gangguan tertinggi adalah penyulang Pokphand sebanyak 57 kali. Dan yang paling kecil angka gangguannya adalah penyulang kima sebanyak 19 Kali. Total lama padam kawasan kima adalah 26.875 menit dan lama rata-rata padam perganguan adalah sebesar 86 menit. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat keandalan penyulang di kawasan KIMA masih rendah. Sedangkan

untuk kategori gangguan temporer (kurang dari 5 menit) pada tahun 2017 adalah sebesar 171 kali dengan total lama padam selama 203,3 menit. Dengan lama rata-rata perganguan adalah 1.2 menit.

Grafik berikut menggambarkan kali gangguan permanen dan gangguan temporer kawasan KIMA tahun 2017

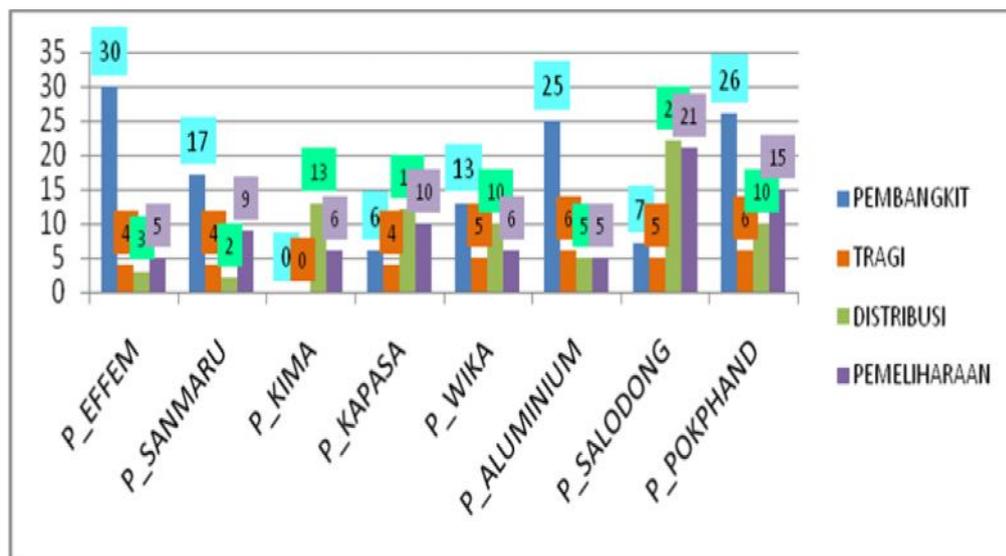


Gambar 4.4. Grafik kali gangguan kawasan KIMA.

Tabel 4.11. Data kali padam berdasarkan daerah penyebab padam

| NO | PENYULANG | PEMBANGKIT | TRAGI | DISTRIBUSI | PEMELIHARAAN |
|--------------|-------------|------------|-----------|------------|--------------|
| 1 | P_EFFEM | 30 | 4 | 3 | 5 |
| 2 | P_SANMARU | 17 | 4 | 2 | 9 |
| 3 | P_KIMA | 0 | 0 | 13 | 6 |
| 4 | P_KAPASA | 6 | 4 | 12 | 10 |
| 5 | P_WIKA | 13 | 5 | 10 | 6 |
| 6 | P_ALUMINIUM | 25 | 6 | 5 | 5 |
| 7 | P_SALODONG | 7 | 5 | 22 | 21 |
| 8 | P_POKPHAND | 26 | 6 | 10 | 15 |
| TOTAL | | 124 | 34 | 77 | 77 |

Dari tabel 4.11. di atas dapat disimpulkan bahwa pada tahun 2017 di Kawasan Industri Makassar (KIMA) yang menjadi penyebab tertinggi terjadinya padam adalah dari sektor pembangkit sebesar 124 kali (sekitar 40%), dan akibat gangguan jaringan distribusi, pemeliharaan dan gangguan transmisi masing-masing berkontribusi sebesar 25%, 25%, dan 11%.



Gambar 4.5. Grafik kelompok penyebab gangguan KIMA

E. Energi tak tersalur / *energy Not sell* (ENS) pada tahun 2017

Energy tak tersalur merupakan besarnya energy yang tidak dapat disalurkan ke pelanggan. *Energy Not Sell* (ENS) dapat dirumuskan:

$$\text{ENS} = \text{daya Padam} \times \text{lama Padam}$$

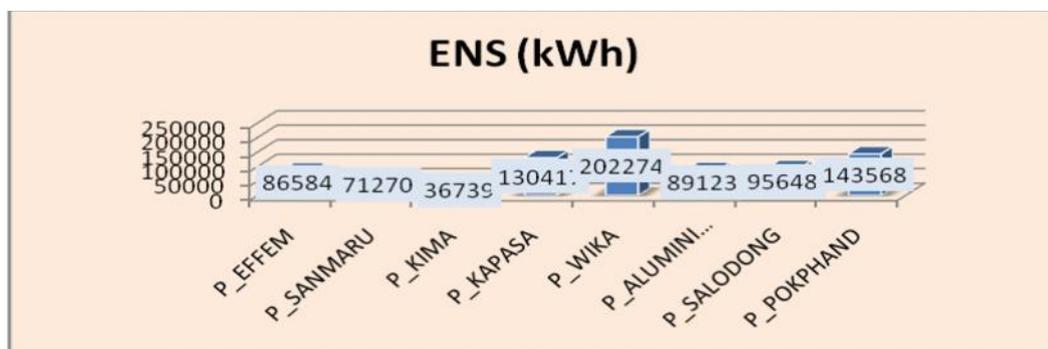
Dengan menggunakan perhitungan di atas, maka diperoleh data besarnya energy tak tersalur akibat Padam pada tahun 2017 di kawasan KIMA.

Tabel 4.6 berikut merupakan data energi tak tersalur kawasan KIMA pada tahun 2017:

Tabel 4.12 . Data energi tak tersalur tahun 2017

| NO | PENYULANG | ENS (kWh) |
|--------------|-------------|-----------------|
| 1 | P_EFFEM | 86584.1 |
| 2 | P_SANMARU | 71270.2 |
| 3 | P_KIMA | 36738.7 |
| 4 | P_KAPASA | 130417.2 |
| 5 | P_WIKA | 202274.5 |
| 6 | P_ALUMINIUM | 89122.5 |
| 7 | P_SALODONG | 95647.6 |
| 8 | P_POKPHAND | 143568.4 |
| TOTAL | | 855623.2 |

Berdasarkan data gangguan yang diperoleh dari hasil penelitian, didapatkan besarnya energi tak tersalur (ENS) akibat terjadinya pemadaman, baik yang disebabkan oleh pemadaman terencana maupun yang tidak terencana. Energi tak tersalur merupakan energi yang tidak dapat dijual/disalurkan ke pelanggan akibat terjadinya pemadaman. Total energi tak tersalur di kawasan KIMA selama tahun 2017 adalah 855.623,2 kWh. Angka ini diperoleh dari besarnya beban/daya yang padam (Watt) dikalikan dengan lamanya durasi padam (jam).



Gambar 4.6. Grafik Energi tak tersalur

Dari grafik dapat diketahui bahwa penyulang di Kawasan Kima yang memiliki energy tak tersalur tertinggi adalah penyulang WIKA sebesar 202.274 kWh.

F. Penerapan Konsep Zero Down Time

Zero Down Time (ZDT) merupakan suatu konsep jaringan yang didesain tanpa padam walaupun terjadi gangguan hubung singkat di jaringan maupun adanya pemeliharaan jaringan.

Syarat konfigurasi jaringan Zero Down Time adalah:

1. Paralel 2 buah penyulang pada trafo yang sama
2. 1 buah penyulang *backup* tanpa beban dari Trafo/GI berbeda
3. Beban penyulang utama kurang dari 50%
4. Pembebanan melalui Outgoing Gardu Hubung

Peralatan-peralatan pendukung untuk pembangunan jaringan Zero Down Time adalah:

1. Penggunaan kubikel CBO pada Gardu Hubung
2. Pemasangan Line Current Differential Relay sebagai main proteksi
3. Penggunaan FO (Fiber optic) sebagai media komunikasi
4. Aksesoris (sensor suhu, cctv dan lainnya)

Mengacu pada syarat-syarat dan peralatan-peralatan pendukung jaringan ZDT, Beberapa material yang perlu disiapkan dalam penerapan jaringan Zero Down Time (ZDT) di kawasan KIMA adalah sebagai berikut:

1. Mengganti kubikel di Gardu pelanggan menjadi kubikel CBO

Kondisi kubikel di Gardu pelanggan industri masih menggunakan LBS dan

tidak mampu memutus arus hubung singkat (short circuit), sehingga harus diganti dengan kubikel yang memiliki breaking capacity yang besar, sehingga jika ada gangguan hubung singkat, PMT GH tersebut mampu trip tanpa menyebabkan kerusakan pada peralatan tersebut.

2. Relai differensial

Relai differensial dipasang di setiap switch pada section (segmen penyulang). dengan tujuan untuk mengisolir gangguan pada jaringan. sehingga jika terjadi gangguan di jaringan, pelanggan tidak merasakan padam.

3. Jalur komunikasi

Jalur komunikasi berfungsi sebagai media komunikasi antar CT relai di setiap GH/switch yang ada. Dalam hal ini availability komunikasi sangat dibutuhkan agar relai bisa saling berkoordinasi dengan baik dan tidak mengalami malfunction relai.

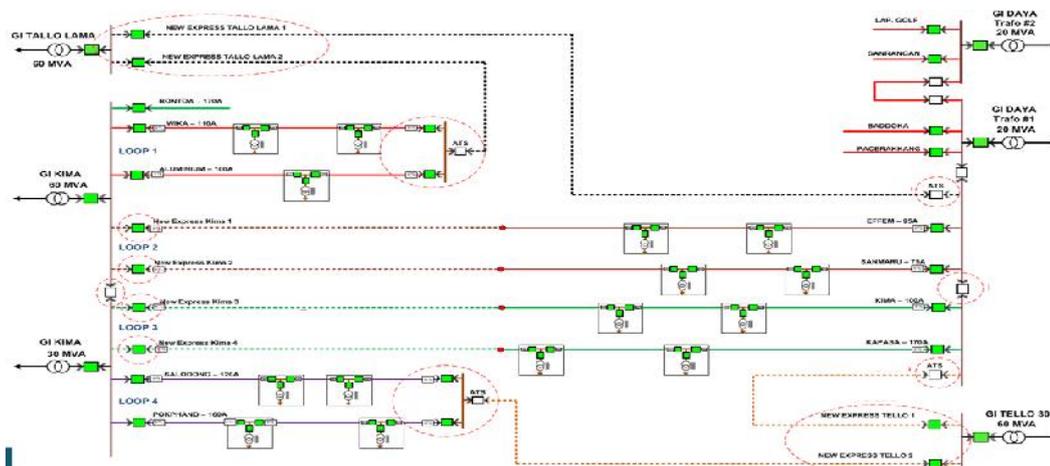
4. Sistem Jaringan 20 kV

Untuk meningkatkan keandalan jaringan pada penyulang-penyulang yang mensuplai kawasan KIMA, maka beberapa jaringan SUTM perlu diganti menjadi SKTM. Dan sebagai alternative bisa menggunakan kabel MVTIC karena biayanya lebih murah.

5. Aksesoris (sensor suhu, cctv dan lainnya)

Aksesoris ini diperlukan untuk melakukan pengawasan dan pemantauan di Gardu pelanggan. Sehingga jika ada indicator suhu yang bekerja maka bisa dilaksanakan preventive maintenance.

Gambar 4.7 berikut merupakan desain konfigurasi jaringan Zero Down Time (ZDT) Kawasan Industri Makassar (KIMA):



Gambar 4.7. Jaringan ZDT kawasan KIMA

Dari gambar 4.7. di atas dapat dijelaskan bahwa:

a) Kondisi normal desain jaringan ZDT kawasan KIMA :

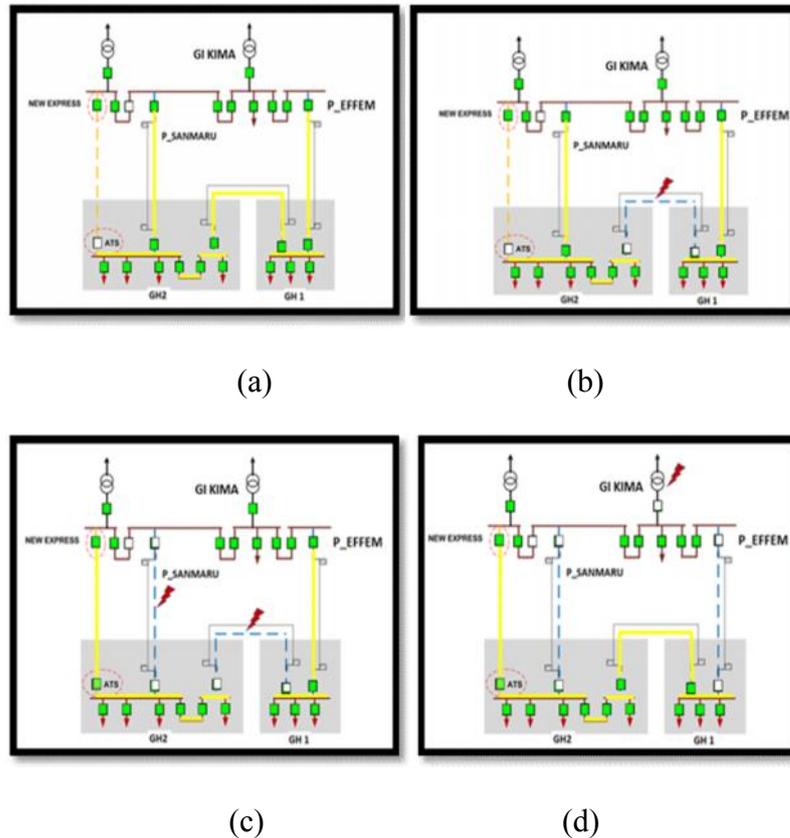
1. penyulang Wika beroperasi loop (paralel) dengan penyulang Aluminium
2. penyulang Effem beroperasi loop (paralel) dengan penyulang Sanmaru
3. penyulang Kima beroperasi loop (paralel) dengan penyulang Kapasa
4. penyulang Salodong beroperasi loop (paralel) dengan penyulang Pokphand.

Tiap pasangan penyulang pada point 1, point 2, point 3, dan point 4 tersebut dioperasikan normal secara paralel (ring) dan disuplai dari 1 trafo yang sama.

b) Untuk mengantisipasi gangguan meluas seperti adanya gangguan trafo, maka perlu ditambahkan jaringan express dari asuhan trafo yang berbeda yang dipasangkan fasilitas Automatic Transfer Switch (ATS) sebagai backup beban penyulang utama.

1. Prinsip kerja jaringan Zero Down Time (ZDT)

Sebagai gambaran prinsip kerja dari konsep jaringan Zero Down Time (ZDT), maka dapat dilihat gambar di bawah ini.



Gambar 4.8 konfigurasi jaringan ZDT P_Sanmaru & P_Effem

- a. Gambar a merupakan Kondisi Normal 2 Buah Penyulang yang beroperasi secara loop/paralel pada trafo yang sama.
- b. Gambar b merupakan contoh Kasus jika terjadi_Gangguan jaringan antara GH1 & GH2, maka PMT GH 1 dan PMT GH2 yang normally close langsung berubah menjadi posisi open akibat adanya gangguan yang dirasakan. Sehingga GH 1 disuplay dari penyulang Effem sedangkan GH2 disuplai dari penyulang Sanmaru.

c. Gambar c merupakan contoh kasus jika terjadi gangguan pada 2 segmen yaitu :

- Pada segmen antara GH 1 & GH 2
- Pada segmen antara PMT Sanmaru & GH 2

Pada kasus ini, maka:

- ✓ PMT Sanmaru dan PMT inc GH2 lepas/trip bersamaan
- ✓ PMT out GH1 dan PMT out GH 2 posisi lepas/trip bersamaan
- ✓ ATS posisi close dan Penyulang Express langsung mensuplai beban di GH 2
- ✓ Beban GH 1 disuplai langsung dari Penyulang Effem

d. Gambar d merupakan contoh Kasus jika terjadi Gangguan pada sisi Trafo #1 yang menyebabkan PMT Incoming Trafo #1 Trip. Pada kasus ini maka PMT incoming trafo posisi lepas/trip. PMT P_Sanmaru, PMT P_EFFEM, PMT inc gh 1, dan PMT inc GH 2 juga posisi lepas. Kemudian pada waktu yang bersamaan ATS posisi masuk dan beban kedua penyulang tersebut disuplai dari penyulang express.

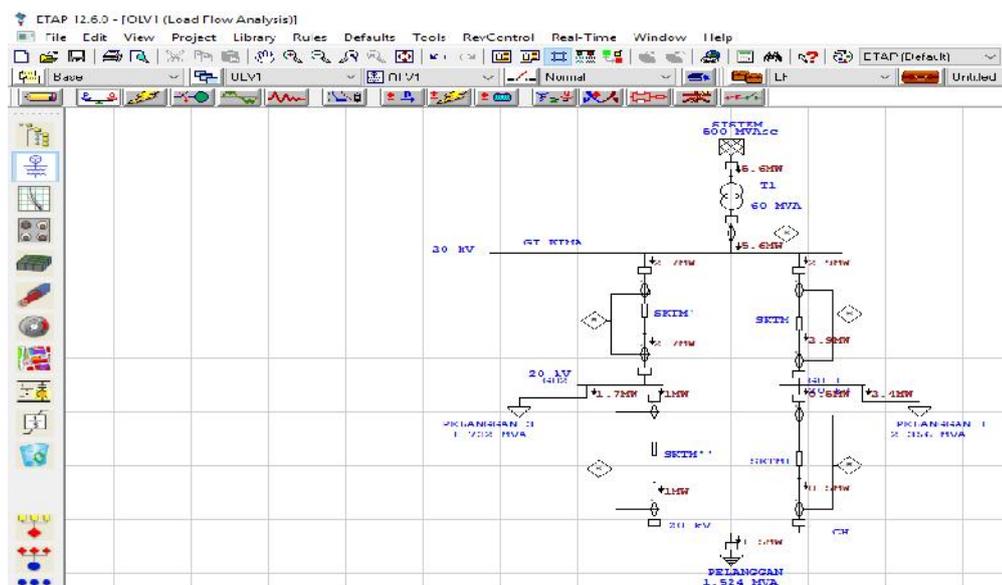
2. Simulasi jaringan Zero down Time (ZDT) menggunakan etap

Untuk menjalankan konsep jaringan Zero down time, hal yg sangat penting perlu diperhatikan adalah tingkat selektifitas dan sensitifitas relai diferensial dalam melakukan pengamananan. Apabila terjadi kesalahan dalam penentuan section gangguan maka akan berdampak terjadinya padam meluas. Sehingga sebelum melaksanakan koordinasi relai secara real di lapangan, maka perlu dilakukan analisa dan simulasi terlebih dahulu dengan menggunakan

aplikasi. Salah satu aplikasi yang mudah digunakan adalah aplikasi etap. Tujuan simulasi ini adalah untuk memastikan bahwa koordinasi relai sudah bekerja dengan baik sehingga dapat memenuhi syarat-syarat proteksi yaitu selektif, sensitif, dan andal. Beberapa hal yang dilakukan dalam melakukan simulasi:

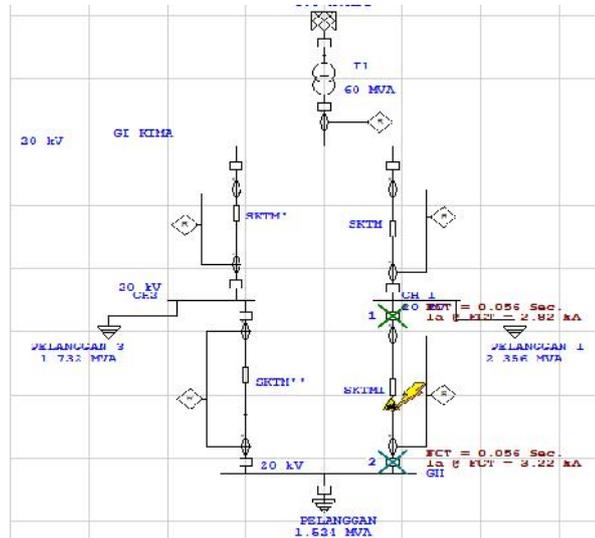
1. Menggambar konfigurasi jaringan sesuai desain jaringan
2. Memberi label nama pada setiap komponen jaringan
3. Menentukan inputan setting masing-masing komponen jaringan.
4. Melakukan running load flow untuk memastikan semua komponen sudah diinput
5. Melakukan simulasi gangguan dengan melakukan injeksi gangguan di masing-masing section jaringan dan memastikan bahwa relai bekerja dengan baik dalam berkoordinasi dan melakukan isolir gangguan.

Gambar 4.9. di bawah merupakan simulasi load flow kawasan KIMA dengan aplikasi etap.



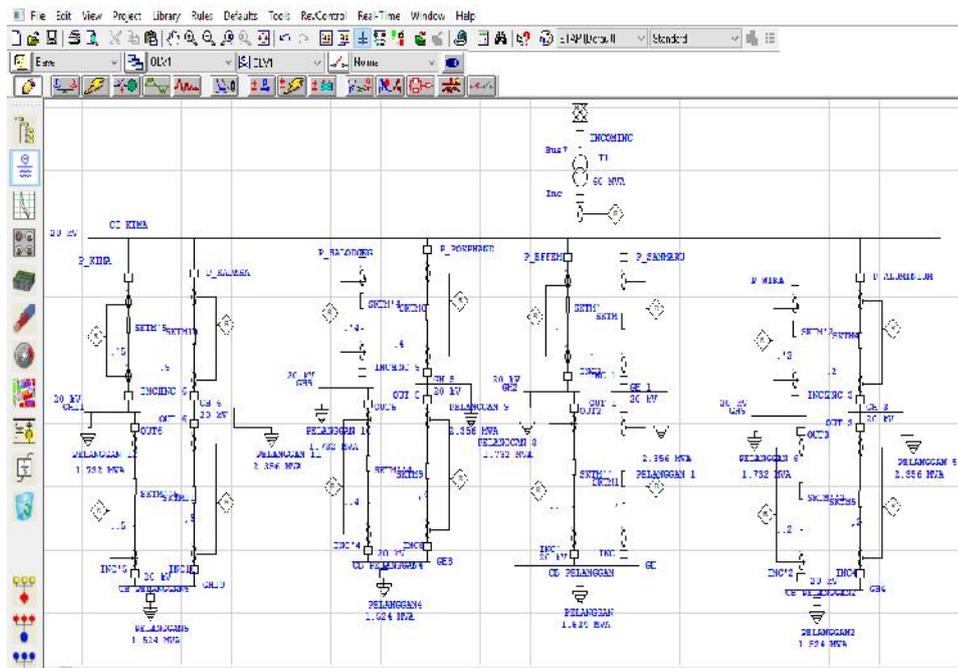
Gambar 4.9.. load flow jaringan ZDT kondisi normal dengan aplikasi etap

Gambar 4.10. di bawah merupakan salah satu contoh simulasi gangguan dan koordinasi relai Differensial dengan aplikasi etap.



Gambar 4.10. simulasi jaringan ZDT pada kondisi gangguan di section 2

Untuk mengetahui model konfigurasi desain jaringan ZDT pada kawasan KIMA secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar 4.11 di bawah ini



Gambar 4.11. konfigurasi ZDT sistem KIMA dengan Etap

3. Perbedaan jaringan existing KIMA (loop) dengan konsep jaringan Zero Down Time KIMA.

Kondisi ekisting jaringan di kawasan KIMA menggunakan konfigurasi jaringan Loop yaitu jaringan bentuk tertutup. Susunan rangkaian membentuk ring dan memungkinkan titik beban terlayani dari dua arah saluran. Bentuk sistem jaringan distribusi loop ada 2 macam yaitu:

1. Bentuk open loop, bila dilengkapi dengan normally open switch yang terletak pada bagian jaringan dan keadaan normal jaringan selalu terbuka.
2. Bentuk close loop, bila dilengkapi dengan normally close switch yang terletak pada bagian jaringan dan keadaan normal jaringan selalu tertutup.

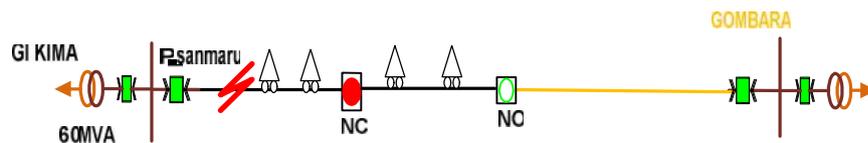
Untuk jaringan eksisting kawasan KIMA mengadopsi jaringan open loop (lihat gambar 4.12) . Kelamahannya adalah apabila terjadi gangguan maka pelanggan akan merasakan padam.

Selanjutnya KIMA dirancang jaringannya untuk mengadopsi Konsep jaringan Zero down time (ZDT). Konfigurasi Jaringan ZDT lebih mirip dengan jaringan spindle yaitu jaringan yang didesain lebih handal karena setiap beban/pelanggan sudah tercluster di dalam gardu distribusi dan jaringannya menggunakan saluran kabel serta terdapat jaringan express yang menjadi backup untuk manuver jika ada gangguan penyulang. Perbedaannya dengan jaringan spindle adalah ZDT beroperasi Normally close (paralel) yaitu switch di GH normally close sedangkan jaringan spindle beroperasi secara open loop yaitu switch di GH posisi normally open. Selain itu perbedaannya adalah ZDT menggunakan relai differensial sebagai proteksi utama dan menggunakan relai

Over Current Relai (OCR) dan Ground Fault Relai (GFR) sebagai backup, sedangkan jaringan loop dan spindle menggunakan relai OCR dan GFR sebagai relai utama.

Jaringan loop dan jaringan spindle tingkat keandalannya masih kalah dengan jaringan ZDT karena jika ada gangguan di jaringan PMT penyulang di GI trip dan menyebabkan semua pelanggan di penyulang tersebut merasakan padam. Sedangkan jaringan ZDT, jika ada gangguan di jaringan pelanggan tidak merasakan padam.

Contoh perbedaan keandalan jaringan LOOP dengan jaringan ZDT:



Gambar 4.12 jaringan loop

Jika terjadi gangguan di section 1, maka relai OCR/GFR bekerja memerintahkan PMT P_Sanmaru trip, sehingga pelanggan akan merasakan padam.

Sebagai contoh total pelanggan di P_sanmaru=10 pelanggan. Jika terjadi gangguan pada section 1 selama 30 menit dan pelanggan merasakan padam sekitar 5 pelanggan. maka :

$$SAIFI = \frac{\sum(\lambda_i N_i)}{\sum N}$$

$$= 1 \times 5/10$$

$$= 0,5 \text{ kali/pelanggan}$$

$$SAIDI = \frac{\sum(T_i N_i)}{\sum N}$$

$$= 30 \times 5/10$$

$$= 15 \text{ menit/pelanggan}$$

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI}$$

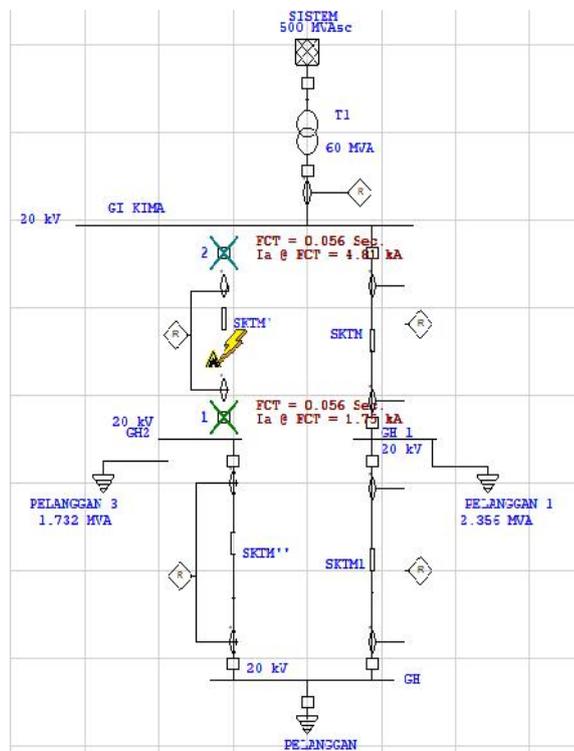
$$= 15/0,5$$

$$= 30 \text{ menit/pelanggan}$$

$$CAIFI = \frac{\sum(\lambda_i N_i)}{\sum N_i}$$

$$= 1 \times 5/5$$

$$= 1 \text{ kali/pelanggan}$$



Gambar 4.13 jaringan Zero down Time

Keterangan :

1. Jika terjadi gangguan pada section 1 antara PMT P_Sanmaru dan PMT GH seperti pada gambar di atas, maka PMT P_Sanmaru dan PMT inc GH akan trip bersamaan
2. Pelanggan tidak ada yang merasakan padam karena trafo pelanggan berada di GH.
3. Nilai keandalan SAIDI=0,

$$\text{SAIFI} = 0,$$

$$\text{CAIDI} = 0$$

Dan

$$\text{CAIFI} = 0.$$

4. **Pengaruh penerapan konsep jaringan Zero Down Time KIMA terhadap kinerja keandalan dan Energi tak tersalur pada Sistem Makassar.**

Dari analisa perhitungan beberapa indeks keandalan SAIDI, SAIFI, CAIFI , CAIDI dan MAIFI pada sistem Makassar dapat dituangkan dalam tabel 4.13 di bawah ini:

| NO | PENYULANG | SAIFI $\frac{\sum(\lambda_i N_i)}{\sum N}$ | SAIDI | CAIFI | CAIDI | MAIFI |
|--------------------|-------------|---|----------------|--------------|---------|---------------|
| 1 | P_EFFEM | 0,0109 | 0,8916 | 0,011 | 81,530 | 0,0020 |
| 2 | P_SANMARU | 0,0006 | 0,0397 | 0,001 | 65,997 | 0,0002 |
| 3 | P_KIMA | 0,0059 | 0,3808 | 0,006 | 64,577 | 0,0008 |
| 4 | P_KAPASA | 0,0300 | 3,6849 | 0,030 | 122,731 | 0,0320 |
| 5 | P_WIKA | 0,0008 | 0,0945 | 0,001 | 124,639 | 0,0013 |
| 6 | P_ALUMINIUM | 0,0034 | 0,2969 | 0,003 | 87,226 | 0,0004 |
| 7 | P_SALODONG | 0,3813 | 32,1954 | 0,385 | 84,440 | 0,2579 |
| 8 | P_POKPHAND | 0,0014 | 0,1075 | 0,001 | 75,268 | 0,0013 |
| NILAI TOTAL | | 0,4343 | 37,6912 | 0,439 | 86,780 | 0,2958 |

Tabel 4.13 nilai indeks keandalan kawasan industri makassar(kima)

Dengan menjalankan konsep Zero Down Time (ZDT) di KIMA , maka kita dapat mengetahui pengaruhnya terhadap keandalan pada sistem Makassar. Berikut tabel perbandingan realisasi pencapaian indeks realibility (keandalan).

Tabel 4.14. Perbandingan nilai keandalan sistem Makassar

| NO | INDEX REALIBILITY | TAHUN 2017 | | | | | |
|----|----------------------|---|--|---------|-------|-------|-------|
| | | KALI PELANGGAN PADAM $\sum(\lambda_i N_i)$ | LAMA PADAM x PELANGGAN PADAM $\sum(T_i N_i)$ | SAIDI | SAIFI | CAIFI | CAIDI |
| 1 | REALISASI TANPA ZDT | 22,092,433.3 | 1,822,742,694.1 | 2,138.0 | 25.9 | 26.2 | 82.5 |
| 2 | REALISASI DENGAN ZDT | 21,722,154.7 | 1,790,609,756.3 | 2,100.3 | 25.5 | 25.7 | 82.4 |
| | SELISIH (1-2) | 370,278.6 | 32,132,937.8 | 37.7 | 0.4 | 0.4 | 0.1 |
| | %SELISIH | 2% | 2% | 2% | 2% | 2% | 0.1% |

Dari tabel 4.14 di atas dapat diambil kesimpulan bahwa pengaruh sistem KIMA terhadap realisasi indeks keandalan pada kelistrikan sistem Makassar adalah sekitar 2%. Sedangkan pengaruh konsep jaringan Zero Down Time KIMA terhadap Energy not sell (ENS) dapat dilihat pada tabel di bawah.

Tabel 4.15 berikut menggambarkan pengaruh ZDT KIMA terhadap nilai ENS sistem Makassar.

Tabel 4.15. Nilai Energi Not Sell (ENS)

| NO | TAHUN 2017 | ENS (KWH) |
|----|----------------------|--------------|
| 1 | REALISASI TANPA ZDT | 20,962,698.4 |
| 2 | REALISASI DENGAN ZDT | 20,107,075.2 |
| | SELISIH (1-2) | 855,623.2 |
| | %SELISIH | 4% |

Pengaruh diterapkannya konsep jaringan Zero Down Time (ZDT) di KIMA untuk Energi tak tersalur pada sistem Makassar adalah sebesar 4%.

5. Manfaat Operasional Penerapan Zero Down Time (ZDT) di kawasan Industri Makassar.

Dalam penerapan konsep jaringan Zero Down Time di kawasan Industri Makassar (KIMA) ada beberapa manfaat operasional yang bisa diperoleh, sebagai berikut:

- a. Memudahkan dispatcher (pengatur) dalam menentukan segmen gangguan, karena di setiap section jaringan dipasang relai differensial yang bekerja secara otomatis dalam melakukan isolir gangguan.
- b. Bekerja secara otomatis dalam melakukan detection, isolation dan restoration saat terjadi gangguan.
- c. Peningkatan keandalan Kawasan KIMA karena konsep ZDT adalah konsep jaringan tanpa padam.
- d. Mengurangi jumlah padam akibat pemeliharaan jaringan karena jaringan ZDT menggunakan jaringan kabel yang pemeliharaannya lebih sedikit dibandingkan dengan pemeliharaan Saluran udara Tegangan Menengah (SUTM).
- e. Dapat membantu mengurangi nilai SAIDI, SAIFI, CAIDI, CAIFI dan MAIFI.

6. Manfaat Finansial Penerapan Zero Down Time (ZDT) di kawasan Industri Makassar.

Beberapa manfaat finansial dengan penerapan konsep jaringan Zero down time (ZDT) adalah:

1. Dapat meningkatkan pendapatan (revenue) dengan menihilkan Energi tak tersalur di kawasan KIMA.

Dari data realisasi energi tak tersalur pada tahun 2017 di Kawasan Industri Makassar pada tabel 4.12, menunjukkan Total energi tak tersalur di kawasan KIMA selama tahun 2017 adalah 855.623,2 kWh.

Dengan tarif listrik per kWh saat ini adalah Rp 1.592, maka diperoleh

besarnya pendapatan yang hilang akibat Energi tak tersalur:

$$\begin{aligned} \text{Rupiah ENS} &= \text{ENS} \times \text{tariff} \\ &= 855.623,2 \text{ kWh} \times \text{Rp } 1.592 \\ &= \text{Rp } 1.362.152.178 \text{ (satu Milyar tiga ratus} \\ &\quad \text{enam puluh dua juta seratus lima puluh dua ribu} \\ &\quad \text{seratus tujuh puluh delapan Rupiah.} \end{aligned}$$

Jadi dengan penerapan ZDT dapat meningkatkan pendapatan sebesar Rp1.362.152.178 yang diperoleh dari peningkatan keandalan pasokan listrik ke KIMA.

2. Dapat meningkatkan nilai jual listrik per kWh dengan menawarkan nilai keandalan ke pelanggan di kawasan kima.

Salah satu program yang ditawarkan oleh PLN yang merupakan salah satu tujuan diterapkannya konsep Zero down time adalah program “Pelanggan Premium”. Tabel 4.16 merupakan uraian aturan tarif premium dan jenis-jenisnya

Tabel 4.16. Data tariff premium

| No. | Uraian | Premium Platinum | Premium Gold | Premium Silver | Premium Bronze |
|-----|---|------------------|-----------------|----------------|-----------------|
| 1 | <i>Load Curtailment</i> (pengurangan daya sementara bila Sistem PLN krisis) | tidak | urutan terakhir | tidak | urutan terakhir |
| 2 | Pemasangan UFR (kemungkinan padam otomatis bila Sistem PLN krisis) | tidak | urutan terakhir | tidak | urutan terakhir |
| 3 | Paralel Pembangkit milik pelanggan | 100% *) | 100% *) | tidak | tidak |
| 4 | Pengurangan tagihan bila terjadi pemadaman | ya | ya | ya | ya |
| 5 | Pengurangan tagihan bila terjadi pengurangan daya (<i>Load Curtailment</i>) | ya | tidak | ya | tidak |
| 6 | Harga Layanan (Rp./kWh) di atas tarif Reguler | 130 | 105 | 55 | 30 |
| 7 | Jam Nyala Minimum (jam) | 200 | 235 | 110 | 110 |

*) : maksimal kapasitas pembangkit (*name plate*) paralel terhadap daya tersambung

Dari data tabel 4.16. di atas dapat diketahui bahwa kelas premium platinum merupakan kelas tertinggi dari beberapa jenis kelas premium yang ditawarkan dan memiliki harga layanan Rp 130 di atas tariff regular. Besarnya tariff regular adalah Rp 1.592 per kWh. Jadi harga tariff premium platinum per kWh adalah Rp 1.722.

Berdasarkan data penggunaan kWh pelanggan-pelanggan di kawasan KIMA perbulan adalah rata-rata sebesar 11,224,637 kWh perbulan. Maka pendapatan yang diperoleh dari pelanggan di KIMA selama sebulan sebelum diterapkannya ZDT dan tariff premium adalah:

$$\begin{aligned} \text{Pendapatan non premium} &= \text{kWh tersalur} \times \text{tariff regular} \\ &= 11.224.637 \text{ kWh} \times \text{Rp } 1.592 \\ &= \text{Rp } 17,869,622,104 \text{ perbulan} \end{aligned}$$

Dengan memperhitungkan seluruh pelanggan di kawasan KIMA pindah ke tariff premium platinum, maka:

$$\begin{aligned} \text{Pendapatan premium} &= \text{kWh tersalur} \times \text{tariff premium platinum} \\ &= 11.224.637 \text{ kWh} \times \text{Rp } 1.722 \\ &= \text{Rp } 19,328,824,914 \text{ perbulan} \end{aligned}$$

Selisih pendapatan di Kawasan KIMA antara tariff premium dengan non premium adalah

$$\begin{aligned} \text{Selisih} &= \text{pendapatan premium} - \text{pendapatan non premium} \\ &= \text{Rp } 19,328,824,914 - \text{Rp } 17,869,622,104 \\ &= \text{Rp } 1,459,202,810 \text{ perbulan} \end{aligned}$$

Rata-rata peningkatan pendapatan selama setahun dengan penerapan ZDT dan tariff premium di KIMA adalah :

$$\begin{aligned} \text{Selisih pendapatan setahun} &= \text{selisih} \times 12 \text{ bulan} \\ &= \text{Rp } 1,459,202,810 \times 12 \\ &= \text{Rp } 17,510,433,720 \end{aligned}$$

Jadi total kenaikan pendapatan selama setahun dengan penerapan ZDT di kawasan kima adalah sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Total pendapatan} &= \text{pendapatan dari keandalan} + \text{pendapatan tariff} \\ &\quad \text{premium} \\ &= \text{Rp } 1.362.152.178 + \text{Rp } 17,510,433,720 \\ &= \text{Rp } 18.872.585.898 \end{aligned}$$

Total pendapatan tersebut diperoleh dari penerapan 4 sistem ZDT (8 penyulang utama + 8 penyulang express) di kawasan kima.

Estimasi biaya yang dibutuhkan untuk membangun satu sistem loop jaringan Zero Down Time (ZDT) adalah sekitar 1,2 Milyar. Di Kawasan KIMA terdapat 4 sistem loop jaringan ZDT yang perlu dibangun, sehingga besarnya biaya investasi total adalah :

$$\begin{aligned} \text{Biaya Investasi} &= \text{jumlah sistem loop jaringan ZDT yang akan di bangun} \\ &\quad \text{dikima} \times \text{Estimasi biaya yang di bangun satu sistem loop jaringan} \\ &\quad \text{ZDT} \\ &= 4 \times 1,2 \text{ Milyar} \\ &= 4,8 \text{ Milyar.} \end{aligned}$$

Dengan memperhatikan besarnya biaya investasi terhadap total pendapatan yang diperoleh, maka:

$$\begin{aligned} \text{Total pendapatan rata2 per bulan} &= \text{Total pendapatan penerapan ZDT/ 12 bulan} \\ &= \text{Rp } 18.872.585.898 / 12 \\ &= \text{Rp } 1,572,715,491.50 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Break Event Point (BEP)} &= \text{Biaya investasi / total pendapatan rata-rata} \\ &\quad \text{perbulan} \\ &= \text{RP } 4,8 \text{ Milyar/ Rp } 1,572,715,491.50 \\ &= 3,05 \text{ Milyar} \end{aligned}$$

Jadi dengan menerapkan konsep Zero Down time di kawasan KIMA, dengan menganalisa biaya investasi dan pendapatan yang diperoleh dari manfaat peningkatan Keandalan, maka diperkirakan perusahaan PLN dapat balik modal investasi pada tahun pertama (sekitar bulan ke 3).

7. Kelemahan desain jaringan Zero Down Time (ZDT).

Desain jaringan Zero Down Time pada Gambar 4.7 memiliki kelemahan, yaitu masih memungkinkan Kawasan Industri Makassar mengalami padam jika terjadi gangguan backout sistem. Pada desain ini hanya berlaku untuk menihilkan padam akibat gangguan jaringan. Hal ini dikarenakan jika terjadi gangguan blackout hampir semua pembangkit mengalami gangguan sehingga walaupun konsep jaringan Zero Down Time sangat handal tapi tidak mampu mengantisipasi pemadaman akibat gangguan pembangkit.

BAB V

PENUTUP

A. KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan dan analisa yang dilakukan oleh penulis, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengaruh konsep jaringan Zero Down Time terhadap keandalan kelistrikan di Kawasan Industri Makassar adalah dapat menihilkan padam di Kawasan Industri Makassar (KIMA) akibat gangguan jaringan. Pengaruh penurunan nilai SAIDI/SAIFI di KIMA terhadap sistem kelistrikan Makassar adalah sekitar 2%.
2. Perbedaan antara kondisi jaringan eksisting dengan konsep desain jaringan Zero Down Time (ZDT) adalah jaringan eksisting menerapkan konfigurasi jaringan Loop. Sedangkan konsep desain jaringan Zero Down Time mengadopsi konfigurasi jaringan spindle, namun kedua penyulang dioperasikan parallel.
3. Peningkatan pendapatan yang memungkinkan bisa diperoleh oleh PLN dengan penerapan Konsep ZDT di kawasan Kima adalah sebesar Rp 18.872.585.898 pertahun dengan rincian :
 - a. Rp 17,510,433,720 dapat diperoleh dari perubahan kelas pelanggan industry menjadi pelanggan premium platinum
 - b. Rp 1.362.152.178 diperoleh dari menihilkan padam pelanggan di Kawasan Industri Makassar (KIMA) sehingga energy tak tersalur nol.

4. Penerapan konsep jaringan Zero Down Time sangat layak diterapkan di Kawasan Industri Makassar (KIMA), karena pelanggan di Kawasan Industri Makassar sangat membutuhkan pasokan listrik yang andal tanpa padam sesuai konsep jaringan Zero Down Time (ZDT).

B. SARAN

1. Perlu ada kajian dan penelitian lebih lanjut untuk penerapan konsep Zero Down time di Kawasan-kawasan lain seperti kawasan bisnis, kawasan perumahan yang padat penduduk, dan kantor pemerintahan.
2. Melihat penyebab padam KIMA lebih dominan disebabkan oleh gangguan pembangkit, maka PLN sebaiknya lebih selektif dalam menentukan penyulang yang masuk dalam tahapan UFR (Under Frequency Relay) ataupun Manual Load Shedding (MLS).. sehingga kawasan Industri KIMA bisa dikeluarkan dari tahapan.
3. PLN perlu menerapkan konsep ini untuk pelanggan-pelanggan besar dan menawarkan pelanggan tersebut beralih ke pelanggan Premium Platinum sehingga dapat meningkatkan pendapatan PLN.
4. Perlu ada kajian lebih lanjut agar jika terjadi gangguan blackout Kawasan Industri Makassar (KIMA) tidak mengalami pemadaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Djiteng marsudi 2006*. Operasi system tenaga listrik. Edisi pertama. graha ilmu yogyakarta
- Mohamad Tresna Wikarsa 2010* Studi Analisis Program Percepatan 10.000 MW Tahap I pada Operasi Sistem Tenaga Listrik Jawa Bali
- Susilo, Rizal Tri. 2010*. Sistem Tenaga Listrik. ([http://www.scribd.com/doc/36440708/](http://www.scribd.com/doc/36440708/SISTEM-TENAGA-LISTRIK) SISTEM- TENAGA LISTRIK). Diakses pada tanggal 25 Febuari 2015.
- SUDIRHAM, SUDARYATNO* Analisis Sistem Tenaga Darpublic,2012 Kanayakan D-30, Bandung, 40135.
- Siti Saodah 2008* EVALUASI KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK BERDASARKAN SAIDI DAN SAIFI
- Gonen, Turan. 1986. Electric Power Distribution System Enggining, McGraw-Hill Book Company, New york.
- N0r ria fitriani 2017* Analisis Penggunaan Rele Differensial sebagai proteksi pada transformator daya 16 mva di gardu induk jajar
- PT PLN (PERSERO)* Unit Pelaksana pengatur distribusi (UP2D) Makassar sulawei selatan