



**ANALISIS SISTEM PROTEKSI JARINGAN TEGANGAN
MENENGAH MENGGUNAKAN APLIKASI ETAP DI
BANDAR UDARA INTERNASIONAL
KUALANAMU**

**Disusun dan Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan Mengikuti Ujian Akhir
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro dari Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Pembangunan Panca Budi**

SKRIPSI

OLEH :

N A M A : BAMBANG SUGINO
N P M : 1724210245
PROGRAM STUDI : TEKNIK ELEKTRO
PEMINATAN : TEKNIK ENERGI LISTRIK

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI**

MEDAN

2019

ANALISIS SISTEM PROTEKSI JARINGAN TEGANGAN MENENGAH MENGGUNAKAN APLIKASI ETAP DI BANDAR UDARA INTERNASIONAL KUALANAMU

**Bambang Sugino
Hj. Zuraidah Tharo, ST., MT
Muhammad Rizky Syahputra, ST.,MT
Universitas Pembangunan Panca Budi**

ABSTRAK

Sistem proteksi jaringan kelistrikan di Bandar Udara Internasional Kualanamu sangat dibutuhkan. Tujuan proteksi selain untuk menjaga keandalan dan stabilitas system tenaga listrik juga berfungsi untuk mendeteksi adanya gangguan, mencegah kerusakan peralatan (peralatan & jaringan), pengaman terhadap manusia dan meminimumkan daerah padam bila terjadi gangguan pada sistem. Gangguan hubung singkat di sistem tenaga listrik yang dapat mengakibatkan pemadaman berdampak terganggunya operasi keselamatan penerbangan, pelayanan kepada penumpang, operasional dan kerja peralatan di Bandara Kualanamu. Setelan pengaman atau proteksi didasarkan pada karakteristik proteksi yang dipasang pada sistem distribusi, berpengaruh sekali pada waktu kerja, dari daerah pengamanan proteksi bila ada kegagalan pada proteksi utamanya. Dari sini akan dibahas bagaimana cara menentukan setting relai arus lebih terhadap gangguan arus lebih yang kemungkinan terjadinya karena gangguan hubung singkat. Untuk mempermudah perhitungan analisa gangguan, maka disimulasikan menggunakan *software Electric Transient and Analysis Program (ETAP) Power Station 12.6*. Rele proteksi yang digunakan dan di setting adalah relai arus lebih yang ada di Sub Station Jaringan Tegangan Menengah Bandara Kualanamu. Relai ini berfungsi memproteksi arus gangguan terhadap fasa-tanah, fasa-fasa, fasa-fasa tanah dan 3 fasa. Setting relai proteksi mengacu pada ketentuan yang berlaku di PLN yaitu untuk waktu pemutusan gangguan jaringan 20 kV di Gardu Induk mulai saat terjadi gangguan hingga padamnya busur – listrik oleh terbukanya Pemutus Tenaga (PMT) penyulang adalah : untuk gangguan singkat Fasa-fasa/3fasa, harus kurang dari atau sama dengan 400 milidetik dan untuk gangguan hubung singkat fasa-tanah *NGR* 12 Ω waktu pemutusan maksimum 500 milidetik, *NGR* 40 Ω waktu pemutusan maksimum 1000 milidetik.

Kata Kunci : Relay Proteksi, SCADA, ETAP, OCR, GFR.

Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro : bgkj_tpi@yahoo.com

***Analysis of Medium Voltage Network Protection System Using Etap
Application in Kualanamu International Airport***

**Bambang Sugino
Hj. Zuraidah Tharo, ST., MT
Muhammad Rizky Syahputra, ST.,MT
University of Pembangunan Panca Budi**

ABSTRACT

Electrical network protection system at Kualanamu International Airport is needed. The purpose of protection in addition to maintaining the reliability and stability of the electric power system also functions to detect disturbances, prevent damage to equipment (equipment & network), safety against humans and minimize areas outgates if there is interference with the system. Short circuit disturbances in the electric power system that can result in blackout impact the disruption of flight safety operation, passenger service, operational and equipment work at Kualanamu Airport. Safety setting or protection based on the protection characteristic installed in the distribution system, have an effect on working time, form protection area if there is failure in its main protection. Form here it will be discussed how to determine the overcurrent disturbances that are likely to occur due to short circuit interference. To simplify the calculation of interference analysis, it is simulated using the Electrical Transient and Analysis Program (ETAP) Power Station software 12.6. The protection relay is used and in the setting is an overcurrent relay in the Kualanamu Airport medium voltage network sub station. This relay serves to protect the flow of interference with the ground-phase, phase-phase, phase-phase ground and 3 phases. Protection relay setting refer to the provisions that apply in the PLN, namely for the termination of the 20 kV network disturbance in the substation starting when there is an interruption to the arc-electricity outage by the opening of feeder breaker (PMT) less than or equal to 400 miliseconds and for ground-phase short circuit NGR 12 Ω maximum termination time of 500 miliseconds, NGR 40 Ω maximum termination time of 1000 miliseconds.

Keywords : Relay Proteksi, SCADA, ETAP, OCR, GFR.

Student of Electrical Engineering Study Program : bgkj_tpi@yahoo.com

Lecturer of Electrical Engineering Program

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR RUMUS	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Metode Penelitian	5
1.7 Sistematika Penulisan	6
BAB 2 DASAR TEORI	7
2.1 Sejarah dan Pengenalan <i>ETAP</i>	7
2.2 Konsep Program <i>ETAP</i>	8
2.3 Jenis-Jenis Analisa <i>ETAP</i>	9
2.4 Hal-Hal yang Perlu Diperhatikan dalam Penggunaan <i>ETAP</i>	10
2.5 Proteksi	11
2.6 Tujuan dari Sistem Proteksi	11
2.7 Daerah Pengaman	12
2.8 Macam-Macam Gangguan	14
2.9 Persyaratan Terpenting dalam Pengaman	17
2.10 Rele Proteksi	19
2.11 Jenis- Jenis Rele	21
2.12 Pengaman Distribusi	30

2.13 Karakteristik Arus Lebih	31
BAB 3 METODE PENELITIAN	43
3.1 Tempat Penelitian.....	43
3.2 Waktu Penelitian	43
3.3 Pengambilan Data.....	43
3.4 Diagram Alir Penelitian.....	44
3.5 Langkah-langkah Menggunakan Software ETAP.....	46
3.6 Analisis Sistem Proteksi.....	57
BAB 4 Hasil Penelitian	60
4.1 Perencanaan Simulasi	60
4.2 Data Penelitian	62
4.3 Hasil Simulasi	64

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	83
5.1 Kesimpulan	83
5.2 Saran	83
 DAFTAR PUSTAKA	 85
LAMPIRAN.....	86

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Karakteristik Rele Inverse.....	61
Tabel 4.2	Data Penyulang PLN	62
Tabel 4.3	Data Trafo Gardu Hubung PLN.....	62
Tabel 4.4	Data Beban Jaringan Non Priority.....	63
Tabel 4.5	Data Circuit Braker High Voltage.....	63
Tabel 4.6	Data Rele.....	63
Tabel 4.7	Skenario Kejadian dan Aksi Simulasi Gangguan 3 Fasa pada Kabel antara RSb8NP dan RSa NP	67
Tabel 4.8	Urutan Kerja Rele.....	67
Tabel 4.9	Perbandingan Waktu Kerja Rele.....	68
Tabel 4.10	Skenario Kejadian dan Aksi Simulasi Gangguan 3 Fasa pada Bus Switchgear 20 KVSST14NP.....	69
Tabel 4.11	Urutan Kerja Rele.....	70
Tabel 4.12	Perbandingan Waktu Kerja Rele.....	73
Tabel 4.13	Skenario Kejadian dan Aksi Simulasi Gangguan 3 Fasa pada Kabel antara RSa8NP dan RSb10NP	73
Tabel 4.14	Urutan Kerja Rele.....	76
Tabel 4.15	Perbandingan Waktu Kerja Rele.....	77
Tabel 4.16	Skenario Kejadian dan Aksi Simulasi Gangguan 3 Fasa pada Bus Switchgear 20 KV SSTRSb17NP	78
Tabel 4.17	Urutan Kerja Rele.....	79
Tabel 4.18	Perbandingan Waktu Kerja Rele.....	82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Kawasan Pengaman untuk Sistem Radial Dipasok dari PLTD	12
Gambar 2.2	Kawasan Pengaman untuk Sistem Radial Dipasok dari Gardu Induk.....	13
Gambar 2.3	Konstruksi Rele.....	20
Gambar 2.4	Skema Diagram Rele Proteksi.....	20
Gambar 2.5	Bentuk Fisik dari Rele Arus Lebih.....	22
Gambar 2.6	Skema dan Bentuk Fisik Rele Differensial.....	23
Gambar 2.7	Single Diagram Rele Gangguan Tana Terbatas	23
Gambar 2.8	Bentuk Fisik dari Rele Bucholtz.....	24
Gambar 2.9	Bentuk Fisik dari Rele Jansen	25
Gambar 2.10	Rangkaian Arus Rele Zero Sequence Current dan Diagram Vektornya	26
Gambar 2.11	Bentuk Fisik dari Rele Tekan Lebih.....	26
Gambar 2.12	Pola Kerja Rele Impedansi.....	27
Gambar 2.13	Gambar Single Line Diagram Directional.....	28
Gambar 2.14	Diagram Pengaman Arus Lebih dengan 3 OCR + GFR.....	28
Gambar 2.15	Rangkaian Rele Suhu.....	30
Gambar 2.16	Grafik Moment.....	31
Gambar 2.17	Grafik Definite Time.....	32
Gambar 2.18	Koordinasi Waktu Pola Definite Time Relay.....	33
Gambar 2.19	Karakteristik Normal Inverse.....	36
Gambar 2.20	Karakteristik Very Inverse.....	36
Gambar 2.21	Karakteristik Extremely Inverse.....	37
Gambar 2.22	Karakteristik Long Inverse.....	37
Gambar 2.23	Koordinasi Rele Inverse.....	38
Gambar 2.24	Karakteristik Inverse Antara Arus Tiap Bus.....	39
Gambar 2.25	Karakteristik Rele Terhadap Arus Gangguan	40

Gambar 3.1	Diagram Blok Penelitian.....	45
Gambar 3.2	Icon ETAP 12.6.....	46
Gambar 3.3	Tampilan awal ETAP 12.6.....	46
Gambar 3.4	Tampilan Memilih New Project	47
Gambar 3.5	Tampilan Kotak Dialog New Project.....	47
Gambar 3.6	Tampilan Utama ETAP 12.6.....	48
Gambar 3.7	Single Line Diagram ETAP 12.6.....	49
Gambar 3.8	Tampilan Data Generator pada ETAP 12.6.....	50
Gambar 3.9	Tampilan Data Transformator pada ETAP 12.6.....	51
Gambar 3.10	Tampilan Data Beban Statis pada ETAP 12.6.....	52
Gambar 3.11	Tampilan Data Lump Load pada ETAP 12.6.....	53
Gambar 3.12	Tampilan Data Bus pada ETAP 12.6.....	54
Gambar 3.13	Tampilan Data Circuit Braker pada ETAP 12.6.....	55
Gambar 3.14	Tampilan Data Over Current Rele pada ETAP 12.6.....	56
Gambar 3.15	Diagram Alis Analisis Sistem Koordinasi Proteksi pada ETAP 12.6	58

DAFTAR RUMUS

Rumus 2.1	Rumus Normal Inverse.....	34
Rumus 2.2	Rumus Very Inverse.....	34
Rumus 2.3	Rumus Extreme Inverse.....	34
Rumus 2.4	Rumus Long Inverse.....	35
Rumus 4.1	Rumus Timer Multiplier Setting (TMS).....	60
Rumus 4.2	Rumus Timer Multiplier Setting (TMS).....	60

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bandar Udara Internasional Kualanamu – Deli Serdang merupakan Bandar Udara yang dibangun untuk melayani penerbangan komersial dalam dan luar negeri. Bandar Udara Internasional Kualanamu adalah Bandar Udara terbesar kedua di Indonesia setelah Bandara Udara Internasional Soekarno Hatta. Bandar Udara Internasional Kualanamu berlokasi di Kabupaten Deli Serdang, Provinsi Sumatera Utara, dengan jarak kurang lebih 39 Km dari kota Medan. Bandar Udara ini dioperasikan pada tanggal 25 Juli 2013.

Sebagai Bandar Udara Internasional yang telah masuk dalam penilaian *Sky Track* untuk berkompetisi dengan Bandara sedunia, menuntut Bandar Udara ini untuk selalu meningkatkan kualitas pelayanan Bandar Udara. Seiring hal tersebut maka diperlukan kehandalan sistem kelistrikan untuk memastikan kontinuitas dan kualitas seluruh sistem kelistrikan dalam menunjang pelayanan Bandar Udara.

Kehandalan dan kualitas sistem kelistrikan Bandar Udara Kualanamu sangat dibutuhkan untuk operasional keselamatan dan keamanan penerbangan. Peralatan Navigasi Penerbangan yang ada di Bandar Udara Kualanamu seperti *radar, instrument landing system, Glade path, Localizer, PAPI* dan lain-lainnya tidak boleh terputus operasionalnya sesuai dengan Peraturan Menteri

Perhubungan Nomor : PM 83 Tahun 2017 Tentang Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil Bagian 139 (*Civil Aviation Safety Regulation Part 139*) tentang Bandar Udara (*Aerodrome*) telah mengatur bahwa setiap pembangunan dan pengoperasian Bandar Udara (*Aerodrome*) harus sesuai dengan standar teknis dan operasional penerbangan sipil.

Kehandalan dan kemampuan suatu sistem tenaga listrik dalam melayani konsumen sangat tergantung pada sistem proteksi yang digunakan. Oleh sebab itu dalam perancangan suatu sistem tenaga listrik, perlu dipertimbangkan kondisi-kondisi gangguan yang mungkin terjadi pada sistem, melalui analisa gangguan. Proteksi sistem tenaga listrik adalah sistem proteksi yang terpasang pada peralatan-peralatan listrik, misalnya generator, transformator, jaringan dan lain-lain, terhadap kondisi abnormal operasi sistem itu sendiri. Kondisi abnormal itu dapat berupa antara lain; hubung singkat, tegangan lebih, beban lebih, frekwensi sistem rendah, sinkron dan lain-lain. Adanya gangguan pada sistem distribusi dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan penting pada penyalur tenaga listrik, yaitu : trafo, penghantar, isolasi dan peralatan hubung. Adanya kerusakan berarti mengganggu kontinuitas dan kehandalan sistem kelistrikan.

Pada sistem distribusi sering terjadi kesalahan kerja rele antara sisi *incoming* dan *outgoing* atau penyulang yang kebanyakan disebabkan oleh gangguan hubung singkat. Oleh karena itu untuk keamanan sistem distribusi perlu mendapatkan suatu nilai setting rele yang tepat (sensitif dan selektif).

Pada jaringan tegangan menengah Bandar Udara Kualanamu pernah terjadi kasus trip-nya Pemutus Tenaga (PMT). Dari hasil *survey* lapangan kemungkinan yang menyebabkan hal ini terjadi, karena *flash over* atau akibat kurang tepat analisa arus hubung singkat saat awal setting. Pada kesempatan ini penulis akan membahas salah satu penyebabnya permasalahan yaitu menganalisa kembali arus hubung singkat pada jaringan tegangan menengah untuk dilakukan re-setting rele, yang lebih tepat (selektif dan sensitif) dengan menggunakan aplikasi *ETAP* 12.6 . Sementara itu analisa hubung singkat yang dilakukan hanya gangguan 3 fasa untuk re-setting rele pada tiap *cubicle*.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana setelan waktu rele proteksi jaringan tegangan menengah di Bandar Udara Kualanamu ?
2. Bagaimana urutan kerja rele proteksi jaringan tegangan menengah di Bandar Udara Kualanamu ?

1.3 Batasan Masalah

Agar tidak terjadinya perluasan pembahasan maka dalam penelitian ini dibutuhkan pembatasan masalah. Batasan masalah tersebut diantaranya adalah:

1. Jenis rele proteksi yang terpasang di Bandar Udara Kualanamu adalah *SEPAM type S42*.
2. Simulasi *Electric Transient Analysis Program (ETAP)* 12.6 yang digunakan adalah simulasi *off line*.

3. Jenis proteksi yang diaktifkan pada rele *SEPAM* adalah *Over Current Rele (OCR)* dan *Ground Fault Rele (GFR)*.
4. Proteksi Jaringan Tegangan Menengah yang akan digunakan pada simulasi pada *ETAP 12.6* ini adalah Jaringan *Non Priority*.
5. Tidak membahas simulasi *ETAP 12.6* secara keseluruhan jaringan di Bandar Udara Kualanamu.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui setelan waktu proteksi jaringan tegangan menengah di Bandar Udara Kualanamu.
2. Untuk mengetahui urutan kerja rele proteksi jaringan tegangan menengah di Bandar Udara Kualanamu.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Diharapkan dapat memberikan tambahan informasi tentang *software ETAP 12.6* sebagai program simulasi yang mempunyai fasilitas yang mendukung simulasi sebuah system jaringan kelistrikan.
2. Diharapkan hasil penelitian ini bisa digunakan sebagai referensi untuk melakukan penelitian berikutnya.
3. Diharapkan hasil penelitian ini dapat digunakan untuk mempermudah dalam mengoptimalkan aplikasi dan penggunaan *ETAP 12.6* dalam menganalisis suatu jaringan tegangan menengah.

1.6 Metode Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan beberapa metode untuk mendapatkan data-data yang diperlukan sebagai pedoman dalam menulis laporan penelitian ini. Metode-metode tersebut adalah :

1. Studi literatur.

Dengan membaca teori-teori yang berkaitan dengan topik Tugas Akhir yang terdiri dari buku-buku referensi baik yang dimiliki oleh penulis atau dari perpustakaan dan juga dari artikel-artikel, jurnal, layanan internet, dan lain-lain.

2. Pengumpulan Data.

Pengumpulan data adalah berupa pengumpulan data untuk diolah dalam penelitian ini. Pada penelitian ini yang dibutuhkan antara lain adalah keterangan setingan proteksi dan single line diagram pada system tenaga kelistrikan Bandara Kualanamu Deli Serdang.

3. Perancangan.

Merancang setingan rele proteksi *SEPAM* dengan menggunakan aplikasi *ETAP 12.6* melalui perhitungan terlebih dahulu.

4. Uji coba gangguan .

Melakukan uji coba simulasi gangguan terhadap setingan rele dengan menggunakan aplikasi *ETAP 12.6* yang telah didesign.

5. Implementasi dan analisa.

Melakukan implementasi pada aplikasi *ETAP 12.6* secara *offline* menganalisa setingan rele proteksi eksisting .

1.7 Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini terdiri dari lima bab, dimana sistematika dari masing masing bab adalah sebagai berikut :

1. BAB I : PENDAHULUAN

Menguraikan latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan metode penelitian, serta sistematika dari penelitian itu sendiri.

2. BAB II : LANDASAN TEORI

Merupakan sumber-sumber mendasar yang bersifat teoritis sebagai bahan referensi.

3. BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Membahas mengenai perancangan sistem tiap blok dan keseluruhan dari sistem yang bersifat prosedural untuk selanjutnya di analisa.

4. BAB IV : HASIL PENELITIAN

Mengulas tentang pengujian dan analisa sistem.

5. BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Menguraikan kesimpulan berikut saran dari penulis.

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 Sejarah dan Pengenalan ETAP

Electric Transient and Analysis Program (ETAP) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung system tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan *offline* untuk simulasi tenaga listrik, *online* untuk pengelolaan data *real-time* atau digunakan untuk mengendalikan system secara *real time*. Fitur yang terdapat didalamnya pun bermacam-macam antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, system transmisi maupun system distribusi tenaga listrik. Jenis program Aplikasi pada system tenaga listrik diantaranya adalah *PSS/E, EDSA, MATLAB, MATCAD, ETAP, DIGSILENT* dll.

ETAP ini awalnya dibuat dan dikembangkan untuk meningkatkan kualitas kewanaman fasilitas nuklir di Amerika Serikat yang selanjutnya dikembangkan untuk menjadi system monitor managemen energy secara *real time*, simulasi, control dan optimasi system tenaga listrik (Awaluddin, 2007).

ETAP dapat digunakan untuk membuat proyek system tenaga listrik dalam bentuk diagram satu garis (*single line diagram*) dan jalur system pentanahan untuk berbagai bentuk analisis antara lain, aliran daya, hubung singkat, *starting* motor, *trancient stability*, koordinasi rele proteksi dan system harmonisasi. Proyek system tenaga listrik memiliki masing-masing elemen rangkaian yang dapat diedit langsung dari diagram satu garis dan atau jalur system pentanahan. Untuk kemudahan hasil perhitungan analisis dapat ditampilkan pada diagram satu garis.

2.2 Konsep Program ETAP

ETAP Power Station memungkinkan untuk bekerja secara langsung dengan tampilan gambar *single line diagram*. Program ini dirancang sesuai dengan tiga konsep utama :

1. *Virtual Reality* Operasi

Sistem operasional yang ada pada program sangat mirip dengan sistem operasi pada kondisi realnya. Misalnya, ketika membuka atau menutup sebuah sirkuit breaker, menempatkan suatu elemen pada sistem, mengubah status operasi suatu motor dan untuk kondisi *de-energized* pada suatu elemen dan sub-elemen sistem ditunjukkan pada gambar *single line diagram* dengan warna abu-abu.

2. Total *Integration Data*

ETAP Power Station menggabungkan informasi sistem elektrikal, sistem logika, sistem mekanik, dan data fisik dari suatu elemen yang dimasukkan dalam sistem database yang sama. Misalnya, untuk elemen sebuah kabel, tidak hanya berisikan data kelistrikan dan tentang dimensi fisiknya, tapi juga memberikan informasi melalui *raceways* yang di lewati oleh kabel tersebut. Dengan demikian, data untuk satu kabel dapat digunakan untuk dalam menganalisa aliran beban (*load flow analysis*) dan analisa hubung singkat (*short-circuit analysis*) -yang membutuhkan parameter listrik dan parameter koneksi- serta perhitungan *ampacity derating* suatu kabel yang memerlukan data fisik *routing*.

3. *Simplicity in Data Entry*

Etap Power Station memiliki data yang detail untuk setiap elemen yang digunakan. Dengan menggunakan editor data, dapat mempercepat proses entri data suatu elemen. Data-data yang ada pada program ini telah di masukkan sesuai dengan data-data yang ada di lapangan untuk berbagai jenis analisa atau desain.

2.3 **Jenis-jenis Analisa *ETAP***

Analisa tenaga listrik yang dapat dilakukan dengan menggunakan *ETAP* : *Load Flow Analysis, Short Circuit Analysis, Optimal Capacitor Placement, Harmonic Analysis, Protection Analysis, Reability Analysis, Transient Stability Analysis, Motor Starting Analysis, Optimal Power Flow, Arc Flash Analysis* dll. *ETAP Power Station* menyediakan *fasilitas library* yang akan mempermudah desain suatu system kelistrikan. *Library* ini dapat diedit atau dapat ditambahkan dengan informasi peralatan bila diperlukan.

Load Flow Analysis pada *software ETAP* dapat menghitung tegangan pada tiap-tiap cabang, aliran arus pada system tenaga listrik dan aliran daya yang mengalir pada system tenaga listrik. Metoda perhitungan aliran daya pada *software ETAP* ada tiga yaitu, Newton Raphson, Fast Decouple dan Gauss Seidel.

Short Circuit Analysis pada *ETAP Power Station* menganalisa gangguan hubung singkat tiga phasa, satu phasa ke tanah, antar phasa dan dua phasa ke tanah pada system tenaga listrik. Program *Short Circuit Analysis ETAP Power Station* menghitung arus total hubung singkat yang terjadi pada *ETAP Power Station* menggunakan standar *ANSI/IEEE* (seri C37) dan *IEC* (*IEC 909* dan lainnya) dalam

menganalisa gangguan hubung singkat yang bias dipilih sesuai dengan keperluan. Untuk memulai *Short Circuit Analysis* maka *single line diagram* system tenaga listrik digambarkan terlebih dahulu dengan memperhatikan komponen serta peralatan yang digunakan.

2.4 Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam penggunaan ETAP

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam bekerja menggunakan *ETAP* anatara lain :

1. One Line Diagram

Merupakan notasi yang disederhanakan untuk sebuah system tenaga listrik tiga fasa

2. Library

Merupakan informasi mengenai semua peralatan yang akan dipakai dalam system kelistrikan. Data elektris maupun mekanis dari peralatan yang detail/lengkap dapat mempermudah dan memperbaiki hasil simulasi/analisa.

3. Standar yang dipakai

Standar *IEC* nilai frekuensi yang digunakan 50 Hz

Standar *ANSI* nilai frekuensi yang digunakan 60 Hz

4. Analisa tenaga listrik yang dapat dilakukan dengan menggunakan ETAP :

Load Flow Analysis, Short Circuit Analysis, Optimal Capacitor Placement, Harmonic Analysis, Protection Analysis, Reability Analysis, Transient Stability Analysis.

2.5 Proteksi

Proteksi transmisi tenaga listrik adalah proteksi yang dipasang pada peralatan-peralatan listrik pada suatu transmisi tenaga listrik sehingga proses penyaluran tenaga listrik dari tempat pembangkit tenaga listrik (*power plant*) hingga saluran distribusi listrik (*substation distribution*) dapat disalurkan sampai pada konsumen pengguna listrik dengan aman. Proteksi transmisi tenaga listrik diterapkan pada transmisi tenaga listrik agar jika terjadi gangguan peralatan yang berhubungan dengan transmisi tenaga listrik tidak mengalami kerusakan. Ini juga termasuk saat dilakukan perawatan dalam kondisi bertegangan. Jika proteksi bekerja dengan baik, maka pekerja dapat melakukan pemeliharaan transmisi tenaga listrik dalam kondisi bertegangan. Jika saat melakukan pemeliharaan tersebut terjadi gangguan, maka pengaman-pengaman yang terpasang harus bekerja demi mengamankan system dan manusia yang sedang melakukan perawatan.

2.6 Tujuan dari Sistem Proteksi

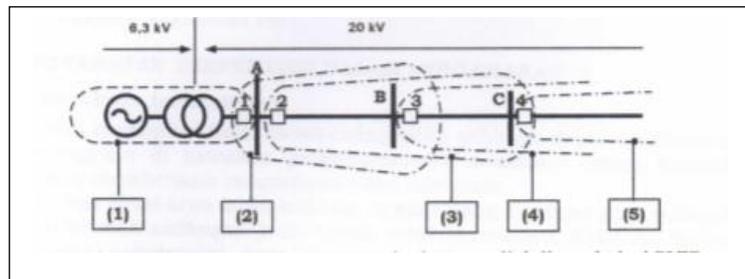
Untuk mengidentifikasi dan mendeteksi gangguan, memisahkan bagian instalasi yang terganggu dari bagian lain yang masih normal, pengaman terhadap manusia dan sekaligus mengamankan instalasi dari kerusakan atau kerugian yang lebih besar, serta memberikan informasi/tanda bahwa telah terjadi gangguan, yang pada umumnya diikuti dengan membukanya Pemutus Tenaga (PMT).

Pemutus Tenaga (PMT) untuk memisahkan/menghubungkan satu bagian instalasi dengan bagian instalasi lain, baik instalasi dalam keadaan normal maupun dalam keadaan terganggu. Batas dari bagian-bagian instalasi tersebut dapat terdiri dari satu Pemutus Tenaga (PMT) atau lebih.

2.7 Daerah Pengamanan

Daerah pengaman, dibagi dalam seksi-seksi yang dibatasi Pemutus Tenaga (PMT) seperti terlihat pada gambar 2.1 dan gambar 2.2, dimana tiap seksi ada rele pengaman dan punya daerah pengaman. Pengaman Cadangan lokal terletak ditempat yang sama dengan pengaman utamanya, sedangkan pengaman cadangan jauh terletak diseksi sebelah hulunya. Sudah barang tentu terjadi tumpang tindih (*over lapping*) antara kawasan pengaman utama dan kawasan cadangannya, baik cadangan local maupun cadangan jauh. Ini berarti gangguan yang terjadi pada kawasan pengaman utama akan dideteksi baik oleh pengaman utama maupun pengaman cadangan local ataupun pengaman cadangan jauhnya.

Untuk menghindari terlepasnya dua seksi sekaligus (seksi kawasan pengaman utama oleh rele pengaman utama dan seksi sebelah hulunya oleh rele pengaman cadangan jauh), maka rele pengaman cadangan jauh diberi waktu tunda.

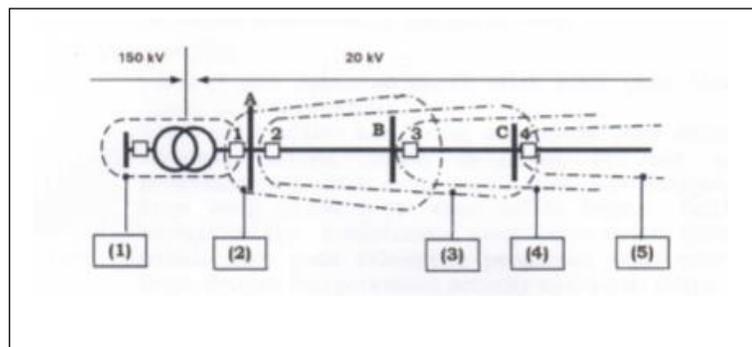


Gambar 2.1 Kawasan Pengaman untuk Sistem Radial dipasok dari PLTD

Sumber : Wahyudi SN & Pribadi.K, 2000

Keterangan gambar 2.1 :

- (1) *Overall Differential* Rele, pengaman utama Gen-Transformator,
- (2) *OverCurrent* Rele pengaman cadangan local Gen-Transformator pengaman cadangan jauh bus A,
- (3) *Over Current* Rele Transformator tenaga sisi 20 KV pengaman utama Bus A, pengaman cadangan jauh saluran A-B,
- (4) *Over Current* rele di B, Pengaman Utama saluran B-C pengaman cadangan jauh saluran C – ujung jaringan,
- (5) *Over current* rele di C, pengaman utama saluran C ujung jaringan.



Gambar 2.2 Kawasan Pengaman untuk Sistem Radial dipasok dari Gardu Induk

Sumber : Wahyudi SN & Pribadi.K, 2000

Kegagalan Pemutus Tenaga (PMT) dapat terjadi untuk mendeteksi arus gangguan yang seharusnya sudah terbuka tapi gagal, disebabkan karena lemahnya battery, terputusnya rangkaian trip, gangguan mekanis pada Pemutus Tenaga (PMT), hal ini perlu adanya cadangan pengaman seperti yang telah dijelaskan di atas.

Pengaman utama dan pengaman cadangan

Ada kemungkinan suatu rele atau komponen lainnya gagal bekerja. Oleh karena itu system dilengkapi dengan pengaman cadangan disamping pengaman utamanya. Karena pengaman cadangan baru diharapkan bekerja jika pengaman utamanya gagal bekerja maka pengaman-pengaman cadangan selalu disertai dengan waktu tunda (*time delay*) untuk memberi kesempatan kepada pengaman utama bekerja lebih dahulu.

Cara memberikan pengaman cadangan sebagai berikut :

- a. Pengaman cadangan local (*local back up*)
- b. Pengaman cadangan jauh (*remote back up*)
- c. Pengaman kegagalan Pemutus Tenaga (PMT)

2.8 Macam-macam Gangguan

1. Gangguan beban lebih

Gangguan ini sebenarnya bukan gangguan murni, tetapi bila dibiarkan terus menerus berlangsung dapat merusak peralatan listrik yang dialiri oleh arus tersebut. Karena arus mengalir melebihi dari kapasitas peralatan listrik dan pengaman yang terpasang melebihi kapasitas peralatan, sehingga saat beban melebihi pengaman tidak trip. Misalnya, kapasitas penghantar 300 A dan pengaman di setting 350 A tetapi beban mencapai 320 A, sehingga pengaman tidak trip dan penghantar akan terbakar.

2. Gangguan hubung singkat

Gangguan hubung singkat, dapat terjadi antar fase (3 fase atau 2 fase) atau 1 fase ketanah dan sifatnya bisa temporer atau permanen.

Gangguan Permanen antara lain :

Gangguan hubung singkat, bias terjadi pada kabel atau pada belitan transformator tenaga yang disebabkan karena arus gangguan hubung singkat melebihi kapasitasnya, sehingga penghantar menjadi panas yang dapat mempengaruhi isolasi atau minyak transformator, sehingga isolasi tembus.

Pada generator yang disebabkan adanya gangguan hubung singkat atau pembebanan yang melebihi kapasitas. Sehingga rotor memasok arus dari ekstasi berlebih yang dapat menimbulkan pemanasan yang dapat merusak isolasi sehingga isolasi tembus.

Disini pada titik gangguan memang terjadi kerusakan yang permanen. Peralatan yang terganggu tersebut, baru bisa dioperasikan kembali setelah bagian yang rusak diperbaiki atau diganti.

Gangguan temporer, antara lain :

Flashover karena sambaran petir (penghantar terkena sambaran petir), *flashover* dengan pepohonan, penghantar tertiuip angin yang dapat menimbulkan gangguan antar fase atau penghantar fase menyentuh pohon yang dapat menimbulkan gangguan 1 fase ke tanah. Gangguan ini yang tembus (*breakdown*) adalah isolasi udaranya, oleh karena itu tidak ada kerusakan yang permanen.

Setelah arus gangguannya terputus, misalnya karena terbukanya *circuit breaker* oleh rele pengamannya, peralatan atau saluran yang terganggu tersebut siap dioperasikan kembali.

Gangguan hubung singkat dapat merusak peralatan, secara :

2.1 Termis atau pemanasan berlebih pada peralatan listrik yang dilalui oleh arus gangguan dapat merusak peralatan listrik. Dimana kerusakan akibat arus gangguan tergantung pada besar dan lamanya arus gangguan.

2.2 Mekanis atau gaya Tarik menarik/tolak-menolak pada penghantar fase yang terganggu karena adanya frekwensi elektris yang dapat menimbulkan frekwensi mekanis.

3. Gangguan Tegangan Lebih

Gangguan tegangan lebih yang diakibatkan adanya kelainan pada system, dimana tegangan lebih dibedakan atas :

3.1 Tegangan lebih dengan power frekwensi, misalnya : pembangkit kehilangan beban yang diakibatkan adanya gangguan pada sisi jaringan, sehingga *over speed* pada generator, tegangan lebih ini dapat juga terjadi adanya gangguan pada pengatur tegangan secara otomatis (*Automatic Voltage Regulator*)

3.2 Tegangan lebih transient karena adanya surja petir yang mengenai peralatan listrik atau Pemutus Tenaga (PMT) yang menimbulkan kenaikan tegangan yang disebut surja hubung.

4. Gangguan Hilangnya Pembangkit

Hilangnya/lepasnya pembangkit akibat adanya gangguan pada sisi pembangkit, gangguan hubung singkat di jaringan menyebabkan terpisahnya system, dimana unit pembangkit yang lepas lebih besar dari *spinning reserve*, maka frekwensi akan terus turun sehingga system bisa padam (*collapse*).

5. Gangguan *Instability*

Gangguan hubung singkat atau lepasnya pembangkit, dapat menimbulkan ayunan daya (*power swing*) atau menyebabkan unit-unit pembangkit lepas sinkron, *power swing* dapat menyebabkan salah kerja rele.

2.9 Persyaratan Terpenting dalam Pengamanan

1. Kepekaan (*sensitivity*)

Pada prinsipnya rele harus cukup peka sehingga dapat mendeteksi gangguan dikawasan pengamanannya meskipun dalam kondisi yang memberikan rangsangan yang minimum.

Untuk rele arus lebih hubung singkat yang bertugas pula sebagai pengaman cadangan jauh untuk seksi berikutnya, rele itu harus dapat mendeteksi arus gangguan hubung singkat 2-fase yang terjadi diujung akhir seksi berikutnya dalam kondisi pembangkitan minimum.

2. Keandalan (*reliability*)

Pada keandalan pengaman ada 3 aspek yaitu:

2.1 *Dependability*

Yaitu tingkat kepastian bekerjanya (keandalan kemampuan bekerjanya).

Pada prinsipnya pengaman harus dapat diandalkan bekerjanya (dapat mendeteksi dan melepaskan bagian yang terganggu), tidak boleh gagal bekerja. Dengan lain perkataan *dependability*- nya harus tinggi.

2.2 *Security*

Yaitu tingkat kepastian untuk tidak salah kerja (keandalan untuk tidak salah kerja).

Salah kerja adalah kerja yang semestinya tidak harus kerja, misalnya karena lokasi gangguan diluar kawasan pengamanannya atau sama sekali tidak ada gangguan, atau kerja yang terlalu cepat atau terlalu lambat. Salah kerja mengakibatkan pemadaman yang sebenarnya tidak perlu terjadi. Jadi pada prinsipnya pengaman tidak boleh salah kerja, dengan lain perkataan security-nya harus tinggi.

2.3 Availability

Yaitu perbandingan antara waktu dimana pengaman dalam keadaan siap kerja (*actually in service*) dan waktu total operasinya.

3. Selektifitas (*selectivity*)

Pengaman harus dapat memisahkan bagian system yang terganggu sekecil mungkin yaitu hanya seksi yang terganggu saja yang menjadi kawasan pengaman utamanya. Pengamnan demikian disebut pengamanan yang selektif. Jadi rele harus dapat membedakan apakah gangguan terletak dikawasan pengamanan utamanya dimana ia harus bekerja cepat atau terletak diseksi berikutnya dimana ia harus bekerja dengan waktu tunda atau harus tidak bekerja sama sekali karena gangguannya diluar daerah pengamanannya atau sama sekali tidak ada gangguan.

4. Kecepatan (*speed*)

Untuk memperkecil kerugian/kerusakan akibat gangguan maka bagian yang terganggu, harus dipisahkan secepatnya mungkin dari bagian system lainnya. Untuk menciptakan selektifitas yang baik mungkin saja suatu pengaman terpaksa diberi waktu tunda (*time delay*). Namun waktu tunda itu harus

secepatnya mungkin (seperlunya saja), karena keterlambatan kerja proteksi dapat mengganggu kestabilan system atau merusak peralatan karena *thermal stress*.

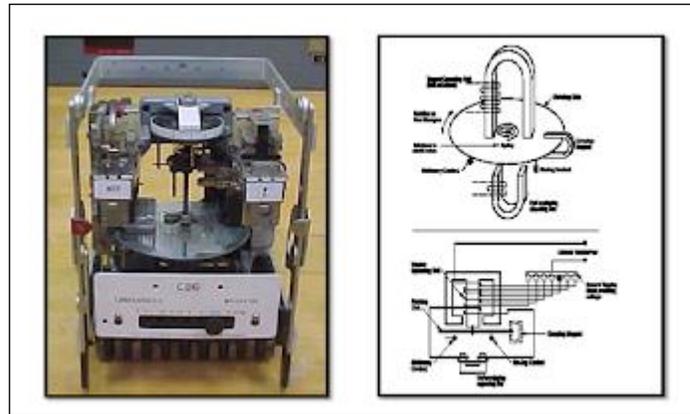
2.10 Rele Proteksi

Salah satu komponen penting dalam system proteksi jaringan listrik adalah rele proteksi. Menurut *American Standart for Relay Associated with Electric Power Apparatus (ASA)* nomor C37.1 rele didefinisikan sebagai sebuah alat yang membuat tindakan spontan pada satu atau banyak rangkaian listrik, dengan cara yang sudah ditentukan, ketika kualitas dan kuantitas parameter yang dapat memberikan perubahan pada system telah diukur.

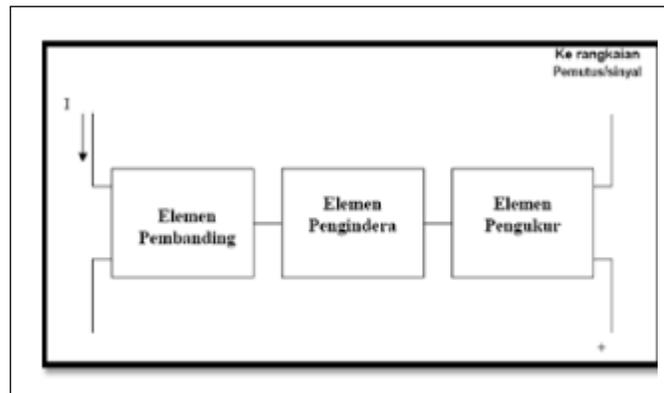
Secara spesifik rele didefinisikan sebagai sebuah alat yang bertugas menerima/mendeteksi gangguan pada saluran atau peralatan listrik dengan besaran tertentu untuk kemudian mengeluarkan perintah sebagai tanggapan (*respons*) atas besaran yang dideteksinya. Berdasarkan cara mendeteksi besaran :

- a. Relay Primer : besaran yang dideteksi misalnya arus, dideteksi secara langsung.
- b. Relay sekunder : besaran yang dideteksi melalui alat-alat bantu misalnya trafo arus/trafo tegangan.

Kotruksi rele terdiri dari dua bagian utama yaitu kumparan magnit dan kumparan induksi.



Gambar 2.3 Kontruksi Rele
Sumber : Pidelis S Purba, 2012



Gambar 2.4 Skema Diagram Rele Proteksi
Sumber : Pidelis S Purba, 2012

1. Elemen Pembanding

Elemen ini berfungsi menerima besaran setelah terlebih dahulu besaran itu diterima oleh elemen pengindra untuk membandingkan besaran listrik pada saat keadaan normal dengan besaran arus kerja rele.

2. Elemen Pengindera

Elemen ini berfungsi untuk merasakan besaran-besaran listrik seperti arus, tegangan, frekwensi dan sebagainya tergantung rele yang dipergunakan.

Pada bagian ini besaran yang masuk akan dirasakan keadaannya apakah keadaan yang diproteksi itu mendapatkan gangguan atau dalam keadaan normal, untuk selanjutnya besaran tersebut dikirimkan keelemen pembanding.

3. Elemen Pengukur

Elemen ini berfungsi untuk mengadakan perubahan secara cepat pada besaran ukurnya dan akan segera memberikan isyarat untuk membuka Pemutus Tenaga (PMT) atau memberikan sinyal.

2.11 Jenis –jenis Rele

a. Rele Arus Lebih

Merupakan rele pengaman yang bekerja karena adanya besaran arus dan terpasang pada Jaringan Tegangan Tinggi, Tegangan menengah juga pada pengaman Transformator tenaga. Rele ini berfungsi untuk mengamankan peralatan listrik akibat adanya gangguan fasa –fasa. Jenis rele arus lebih

a.1 Rele *Inverse*; waktu kerjanya tergantung kepada besarnya arus hubung singkat, makin besar makin cepat. Pada koordinasi antara rele-rele *inverse* berlaku koordinasi arus dan waktu sekaligus.

a.2 Rele Cepat; digunakan dalam kombinasi dengan rele *definit/inverse* apabila diperlukan waktu kerja yang lebih cepat misalnya jika terjadi gangguan dengan arus hubung singkat besar.

a.3 Rele *Definit*; bekerjanya tidak tergantung kepada besarnya arus hubung singkat yang melaluinya. Waktu kerjanya disetel tertentu dan biasanya

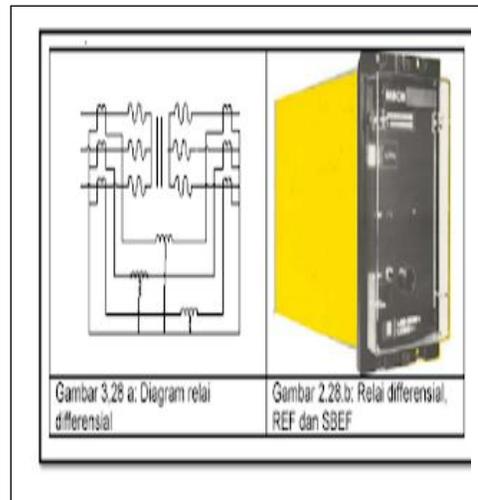
dikoordinasikan dengan waktu kerja pengaman didepan dan dibelakangnya.



Gambar 2.5 Bentuk Fisik dari Rele Arus Lebih

Sumber : Pidelis S Purba, 2012

- b. Rele *Differential*, rele *differential* pada prinsipnya adalah sama saja dengan rele arus lebih hanya saja lebih peka karena harus bekerja terhadap arus yang kecil. Perbedaan dengan rele arus lebih terletak pada rangkaian yang bertugas mendeteksi arus.

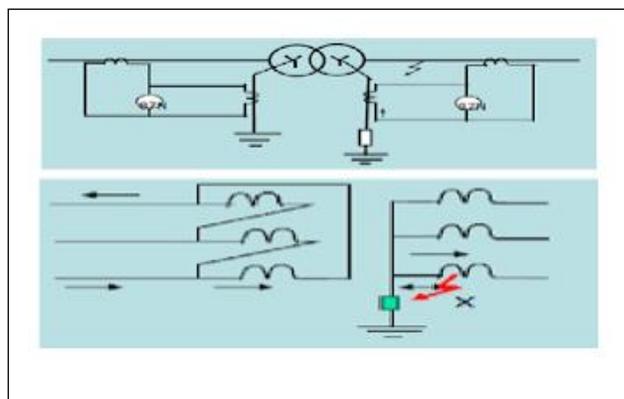


Gambar 2.6 Skema dan Bentuk Fisik Rele Differensial

Sumber : Pidelis S Purba, 2012

c. Rele Gangguan Tanah Terbatas

Rele Gangguan Tanah Terbatas ini berfungsi untuk mengamankan transformator terhadap tanah didalam daerah pengaman transformator khususnya untuk gangguan didekat titik netral yang tidak dapat dirasakan oleh RELE *differential*, yang disambung ke instalasi trafo arus (CT) dikedua sisi.



Gambar 2.7 Single Diagram Rele Gangguan Tana Terbatas

Sumber : Pidelis S Purba, 2012

d. Rele Bucholtz

Rele Bucholtz berfungsi untuk mendeteksi adanya gas yang ditimbulkan oleh loncatan (bunga) api dan pemanasan setempat dalam minyak transformator. Penggunaan rele deteksi gas (bucholtz) pada transformator terendam minyak yaitu untuk mengamankan transformator yang didasarkan pada gangguan transformator seperti : *arcing, partial, discharge, over heating* yang umumnya menghasilkan gas.



Gambar 2.8 Bentuk Fisik dari Rele Bucholtz

Sumber : Pidelis S Purba, 2012

e. Rele Jansen

Rele Jansen berfungsi untuk mengamankan pengubah tap (*tap changer*) dari transformator. *Tap changer* adalah alat yang terpasang pada trafo, berfungsi untuk mengatur tegangan keluaran (sekunder) akibat beban maupun variasi tegangan pada system masukannya (*input*). *Tap changer* umumnya dipasang pada ruang terpisah dengan ruang untuk tempat kumparan dimaksudkan agar minyak *Tap cahnger* tidak bercampur dengan minyak tangka utama. Untuk mengamankan ruang *diverter switch* apabila terjadi gangguan pada system tap changer digunakan pengaman yang biasa disebut Rele Jansen (bucholznya

Tap *Changer*). Jenis dan type rele Jansen bermacam-macam bergantung pada merk trafo, misalnya RS 1000, LF 15, LF 30. Rele Jansen dipasang antara tangka Tap *Changer* dengan konsektor minyak tap *Changer*.



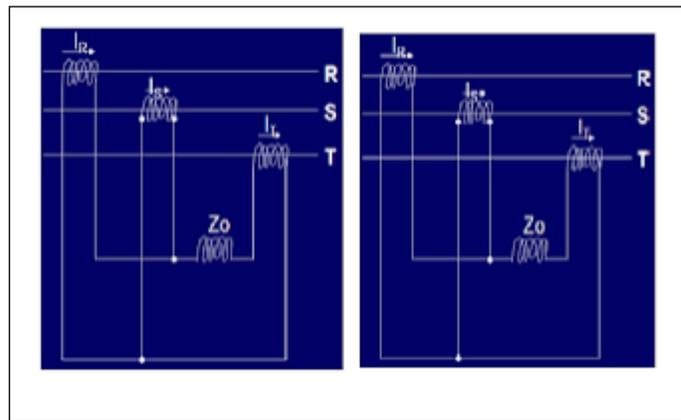
Gambar 2.9 Bentuk Fisik dari Rele Jansen

Sumber : Pidelis S Purba, 2012

f. Rele *Zero Sequence Current*

Konstruksi dan prinsip kerjanya adalah seperti rele arus lebih hanya rangkaian arusnya yang bertugas mendeteksi arus *zero sequence* yang berbeda. Juga karena arus *zero sequence* ini ordenya lebih kecil maka rele arus *zero sequence* ini juga harus lebih peka dari rele arus lebih.

Dalam keadaan normal maka arus dalam fasa I_R , I_S dan I_T sama besarnya (simetris) masing-masing berbeda fasa 120° sehingga arus melewati kumparan $Z_0 = 0$, tetapi apabila ada gangguan hubung tanah maka keadaan arus setiap fasa tidak simetris lagi dan mengalirkan komponen arus urutan nol lewat kumparan Z_0 sehingga rele arus *zero sequence* bekerja.



Gambar 2.10 Rangkaian Arus Rele Zero Sequence Current dan Diagram Vektornya

Sumber : Pidelis S Purba, 2012

g. Rele Tekan lebih

Rele Tekanan Lebih ini berfungsi mengamankan tekanan lebih pada transformator dipasang pada transformator tenaga dan bekerja dengan menggunakan membrane. Tekanan lebih terjadi karena adanya *flash over* atau hubung singkat yang timbul pada belitan transformator tenaga yang terendam minyak lalu berakibat decomposisi dan evaporasi minyak sehingga menimbulkan tekanan lebih pada tangki transformator.

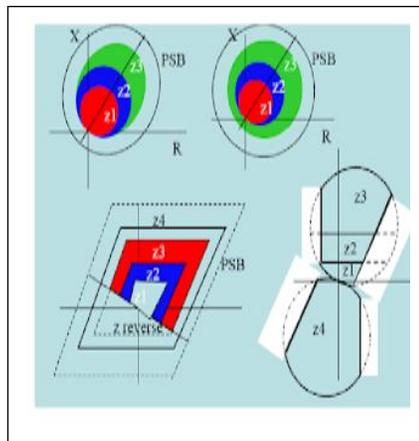


Gambar 2.11 Bentuk Fisik dari Rele Tekan Lebih

Sumber : Pidelis S Purba, 2012

h. Rele Impedansi

Rele impedansi disebut juga rele jarak atau *impedance relay* atau *distance relay*. Disebut rele impedansi karena mendeteksi impedansi tapi disebut rele jarak karena bersifat mengukur jarak. Rele ini mempunyai beberapa karakteristik seperti mho, quadrilateral, reaktans dll. Sebagai unit proteksi rele ini dilengkapi dengan pola teleproteksi seperti *putt*, *pott* dan *blocking*. Jika tidak terdapat teleproteksi maka rele ini berupa *step distance* saja.

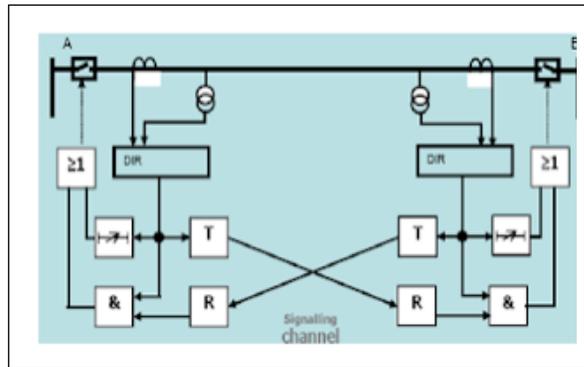


Gambar 2.12 Pola Kerja Rele Impedansi

Sumber : Pidelis S Purba, 2012

i. Directional Comparison Rele

Rele penghantar yang prinsip kerjanya membandingkan arah gangguan, jika kedua rele pada penghantar merasakan gangguan didepannya maka rele akan bekerja. Cara kerjanya ada yang menggunakan *directional impedans*, *directional current* dan *superimposed*.

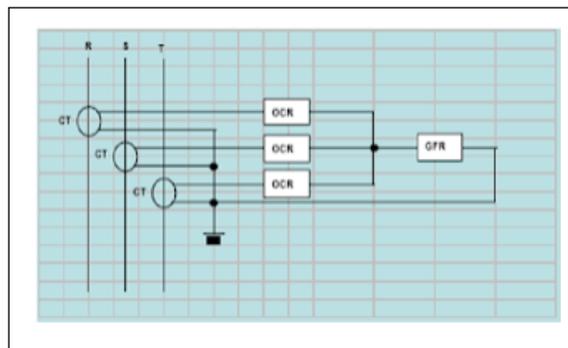


Gambar 2.13 Gambar Single Line Diagram Directional Comparison Relé

Sumber : Pidelis S Purba, 2012

j. Rele Hubung Tanah (*GFR*)

Rele Hubung Tanah merupakan rele pengaman yang bekerja karena adanya besaran arus dan terpasang pada jaringan Tegangan Tinggi, Tegangan Menengah juga pada pengaman Transformator Tenaga.



Gambar 2.14 Diagram Pengaman Arus Lebih dengan 3 OCR + GFR

Sumber : Pidelis S Purba, 2012

k. *Circuit Breaker (CB)*

Circuit Braker (CB) adalah salah satu peralatan pemutus daya yang berguna untuk memutuskan dan menghubungkan rangkaian listrik dalam kondisi terhubung ke beban secara langsung dana man baik pada kondisi normal

maupun saat terdapat gangguan. Berdasarkan media pemutus / pemadam bunga api terdapat empat jenis *Circuit Braker (CB)* sbb :

1. *Air Circuit Breaker (ACB)*, menggunakan media berupa udara
2. *Vacum Circuit Breaker (VCB)*, menggunakan media berupa vakum
3. *Gas Circuit Breaker (GCB)*, menggunakan media berupa gas *SF6*
4. *Oil Circuit Breaker (OCB)*, menggunakan media berupa minyak.

Berikut ini adalah syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh suatu peralatan untuk menjadi pemutus daya :

- a. Mampu menyalurkan arus maksimum system secara continue.
- b. Mampu memutuskan atau menutup jaringan dalam keadaan berbeban ataupun dalam keadaan hubung singkat tanpa menimbulkan kerusakan pada pemutus daya itu sendiri.
- c. Mampu memutuskan arus hubung singkat dengan kecepatan tinggi.

1. Relay suhu

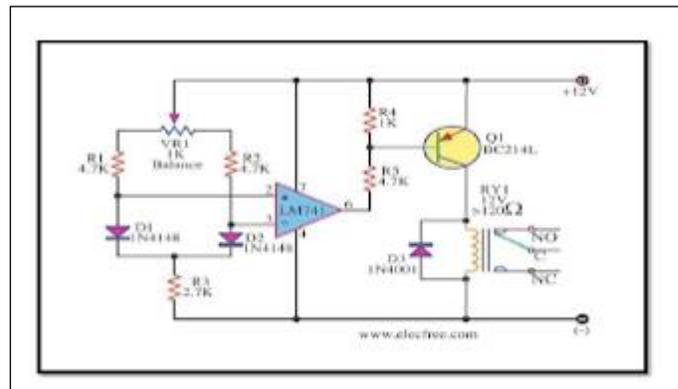
Rele ini digunakan untuk mengamankan transformator dari kerusakan akibat adanya suhu yang berlebihan. Ada 2 macam rele suhu pada transformator yaitu :

a. Rele Suhu Minyak

Rele ini dilengkapi dengan sensor yang dipasang pada minyak isolasi transformator. Pada saat transformator bekerja memindahkan daya dari sisi primer ke sisi sekunder, maka akan timbul panas pada minyak isolasi akibat rugi daya maupun adanya gangguan pada transformator.

b. Rele Suhu Kumparan

Rele ini hampir sama dengan rele suhu minyak. Perbedaannya terletak pada sensornya, sensor rele suhu kumparan berupa elemen pemanas yang dialiri arus dari transformator arus yang dipasang pada kumpara-kumparan transformator.



Gambar 2.15 Rangkaian Rele Suhu

Sumber : Pidelis S Purba, 2012

2.12 Pengamanan Distribusi

1. Pengaman gangguan antar fase (*Over Current Relay*)

Pengaman gangguan antar fase (*OCR*) dipergunakan untuk mengamankan system distribusi, jika ada gangguan hubung singkat 3 fase atau 2 fase.

Pemasangannya dapat *incoming feeder* (penyulang masuk), di *outgoing feeder* (penyulang keluar) atau digardu hubung.

2. Pengaman Gangguan Satu Fase ke Tanah (*Ground Fault Relay*)

Pengamana gangguan satu fase ketanah (*GFR*) dipergunakan untuk mengamankan system distribusi, jika ada gangguan hubung singkat satu fase

ketanah. Pemasangannya dapat *incoming feeder* (penyulang masuk), di *outgoing feeder* (penyulang keluar) atau di gardu hubung.

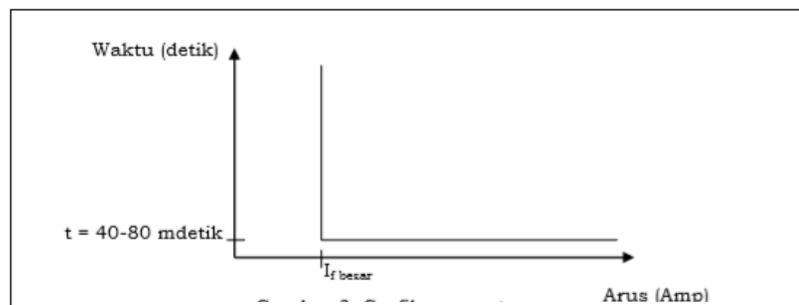
3. Moment (*instant*), sebagai pengaman untuk arus yang besar.
4. Peralatan pengaman, terdiri dari :
 - a. Current transformer / trafo arus : gunanya adalah jika ada gangguan pada system, meneruskan arus dari circuit system tenaga ke circuit rele.
 - b. Rele pengaman : sebagai elemen perasa yang signalnya diperoleh dari trafo arus.
 - c. Pemutus Tenaga (PMT) : sebagai pemutus arus untuk mengisolir sirkit terganggu.
 - d. Battery/aki : sebagai sumber tenaga untuk men-tripkan Pemutus Tenaga (PMT) dan catu daya untuk rele statis serta sebagai alat bantu.

2.13 Karakteristik Arus Lebih

Hubungan kerja antara besar arus dan waktu kerja rele

1. *Instantaneous* Rele

Setelannya tanpa waktu tunda, tapi masih bekerja dengan waktu cepat sebesar 40-80 mili detik, seperti terlihat pada gambar 2.16



Gambar 2.16 Grafik Moment
 Sumber : Wahyudi SN & Pribadi.K, 2000

Yang bekerjanya, didasarkan pada besarnya arus gangguan hubung singkat yang dipilih. Pada setelan koordinasi proteksi disistem distribusi tegangan menengah dipergunakan / disebut setelan moment / instant.

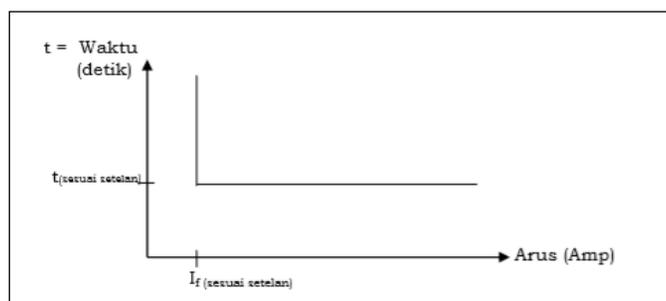
Misal : saat terjadi gangguan hubung singkat, membukanya Pemutus Tenaga (PMT) waktu cepat sekali = 40 mili detik (yang terekam di rele), berarti gangguan hubung singkat yang terjadi adalah arus yang besar.

2. *Definite Time* Rele

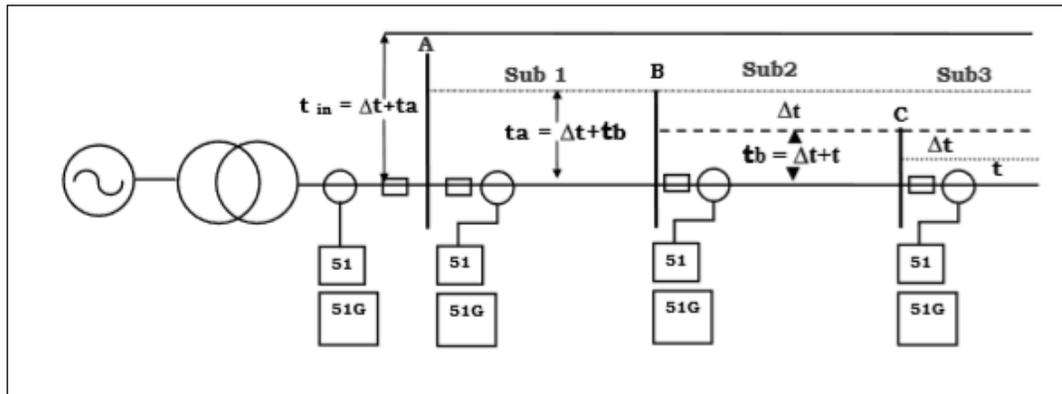
Setelan Proteksi dengan mempergunakan karakteristik *definite time* yang di setel rele, hanya didasarkan pada waktu kerjanya proteksi tidak melihat besarnya arus gangguan. Kurva *definite time* dapat dilihat pada gambar 2.17

Misal : panjang penghantar distribusi 20 km setting waktu di rele 0,3 detik dan arus beban (maksimum) 100 Amp, maka setting arus (primer) sebesar $1,2 \times 100 \text{ Amp} = 120 \text{ Amp}$.

Dalam hal ini, bila ada gangguan hubung singkat diujung jaringan atau ditengah jaringan, waktu yang dibutuhkan untuk mentriapkan Pemutus Tenaga (PMT) hanya 0,3 detik (waktunya sama sepanjang jaringan)



Gambar 2.17 Grafik Definite Time
 Sumber : Wahyudi SN & Pribadi.K, 2000



Gambar 2.18 Koordinasi Waktu pada Definite Time Relay

Sumber : Wahyudi SN & Pribadi.K, 2000

Koordinasi rele, yang menggunakan karakteristik *definite time* secara bertingkat seperti terlihat pada gambar 2.18 yang waktunya disetel dari sisi hulu sampai dengan sisi hilir, dengan tunda waktu 0,3 – 0,4 detik.

Contoh :

Setelan t (waktu) di GH C = 0,3 detik, tunda waktu (Δt) = 0,4 detik maka :

Setelan waktu di GH B = 0,3 + 0,4 = 0,7 detik

Setelan waktu di Penyulang keluar (outgoing feeder) = 0,7+0,4= 1,1 detik

Setelan waktu dipenyulang masuk (in coming feeder) = 1,1 + 0,4=1,5 detik.

Dari contoh diatas bahwa setelan waktu, makin ke hulu makin besar. Bila terjadi kegagalan proteksi maka proteksi disisi hulu nilai waktunya 1,5 detik.

3. *Inverse Time Rele*

Setelan Proteksi dengan mempergunakan karakteristik *inverse time* rele adalah karakteristik yang grafiknya terbalik antara arus dan waktu, dimana makin besar arus makin kecil waktu yang dibutuhkan untuk membuka Pemutus Tenaga (PMT). Seperti terlihat pada gambar 2.19, 2.20, 2.21 dan 2.22 dibawah ini.

Karakteristik inverse sesuai IEC 60255-3, sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Normal Inverse : } t &= \frac{0,14}{((I_f/I_{set})^{0,02} - 1)} \quad \text{Tms (detik)} \\
 \text{Tms} &= \frac{((I_f/I_{set})^{0,02} - 1)}{0,14} \quad t \quad (2.1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Very Inverse : } t &= \frac{13,5}{((I_f/I_{set})^1 - 1)} \quad \text{Tms (detik)} \\
 \text{Tms} &= \frac{((I_f/I_{set})^1 - 1)}{13,5} \quad t \quad (2.2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Extreme Inverse : } t &= \frac{80}{((I_f/I_{set})^2 - 1)} \quad \text{Tms (detik)} \\
 \text{Tms} &= \frac{((I_f/I_{set})^2 - 1)}{80} \quad t \quad (2.3)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Long Inverse : } t &= \frac{120}{((I_f/I_{set})^1 - 1)} \text{ Tms (detik)} \\
 \text{Tms} &= \frac{((I_f/I_{set})_1 - 1)}{120} t \quad (2.4)
 \end{aligned}$$

Dimana :

t = Waktu Tripnya Relai (detik)

I_f = Arus gangguan hubung singkat (Amp)

Setting OCR, I_f diambil arus gangguan 3 fasa atau 2 fasa terbesar

Setting GFR, I_f diambil arus gangguan 1 fasa ketanah atau 2 fasa terbesar

I_{set} = Arus setting yang dimasukkan ke Relai (Amp)

Setting OCR, I_{set} diambil 1,05 s/d 1,3 I beban

Setting GFR, I_{set} diambil 6% s/d 12% I_f fase terkecil

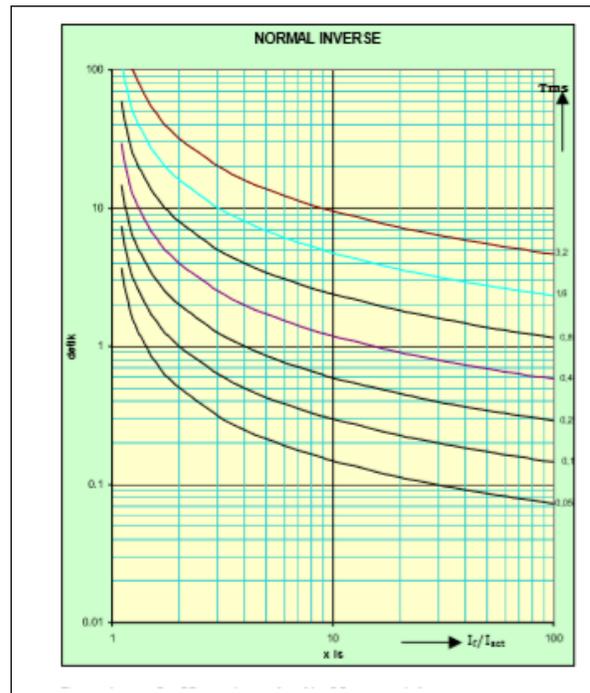
Tms = *Time Multiplier Setting*

Nilai ini yang disetkan ke relai sebagai konstanta (tanpa satuan)

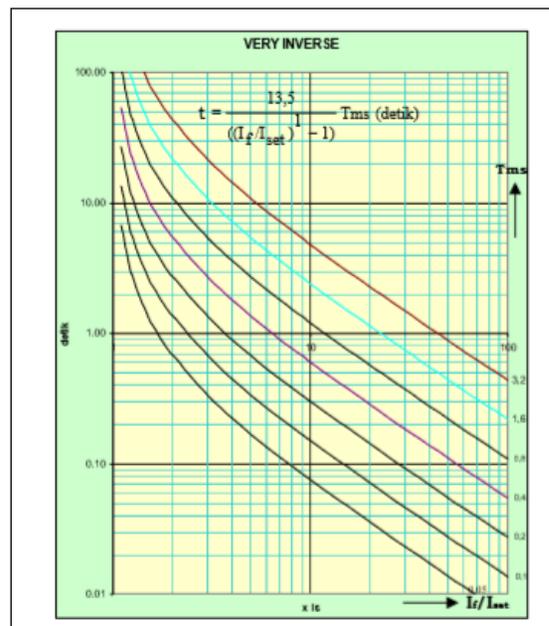
Catatan :

Dari karakteristik inverse seperti persamaan (1) s/d (4) diatas dapat digambarkan grafik seperti terlihat dibawah ini, yang mempergunakan grafik logaritma.

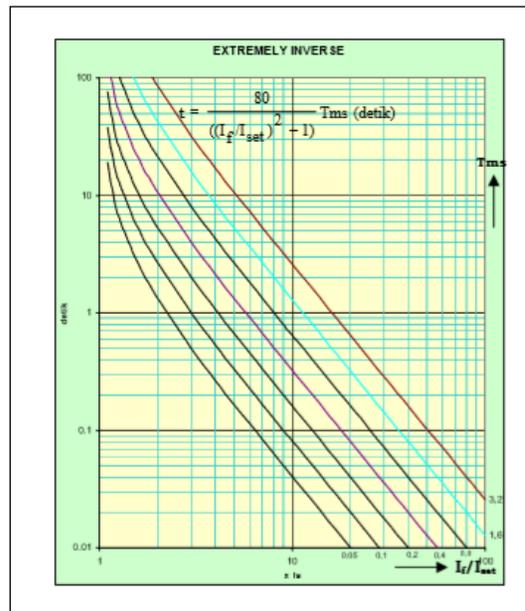
Macam – macam Karakteristik rele untuk karakteristik *inverse*



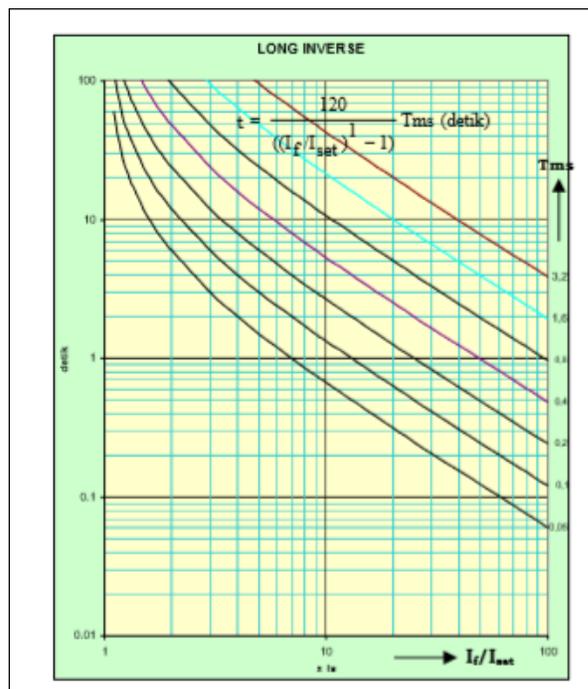
Gambar 2.19 Karakteristik *Normal Inverse*
 Sumber : Wahyudi SN & Pribadi.K, 2000



Gambar 2.20 Karakteristik *Very Inverse*
 Sumber : Wahyudi SN & Pribadi.K, 2000

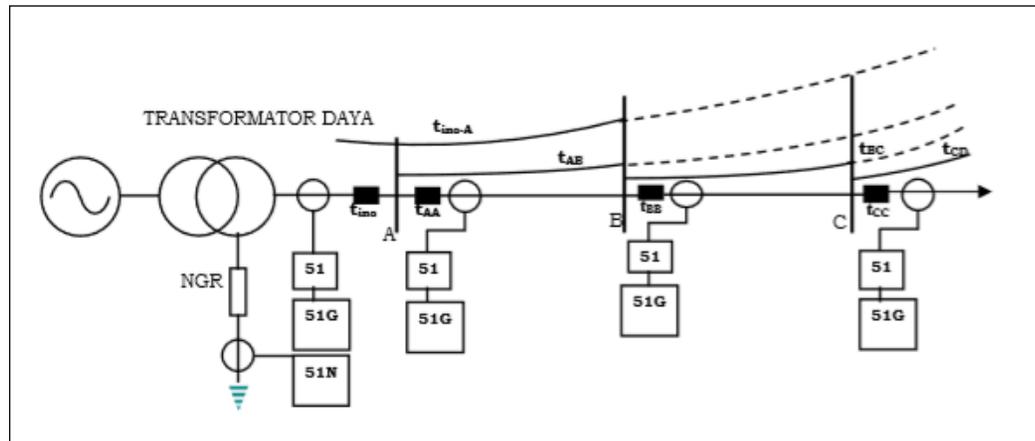


Gambar 2.21 Karakteristik *Extremely Inverse*
 Sumber : Wahyudi SN & Pribadi.K, 2000



Gambar 2.22 Karakteristik *Long Inverse*
 Sumber : Wahyudi SN & Pribadi.K, 2000

Koordinasi rele yang mempergunakan karakteristik *inverse time* rele, adalah memperhitungkan besarnya arus gangguan hubung singkat yang terjadi di jaringan distribusi tegangan menengah. Seperti terlihat pada gambar 2.23



Gambar 2.23 Koordinasi Rele *Inverse*
 Sumber : Wahyudi SN & Pribadi.K, 2000

Keterangan gambar I.10:

○ = Trafo Arus/Current Transformer (CT)

51 = Over Current Relay (OCR)

51G = Ground fault Relay (GFR)

■ = Pemutus

B & C = Gardu Hubung / Recloser

Penyetelan arus dan waktu pada rele *OCR* dan *GFR* didasarkan pada besarnya arus gangguan hubung singkat yang disetel dari sisi hulu sampai dengan sisi hilir sebagai berikut :

t_{CC} = Waktu kerja relai bus C,

t_{BB} = Waktu kerja relai bus B,

t_{AA} = Waktu kerja relai bus A,

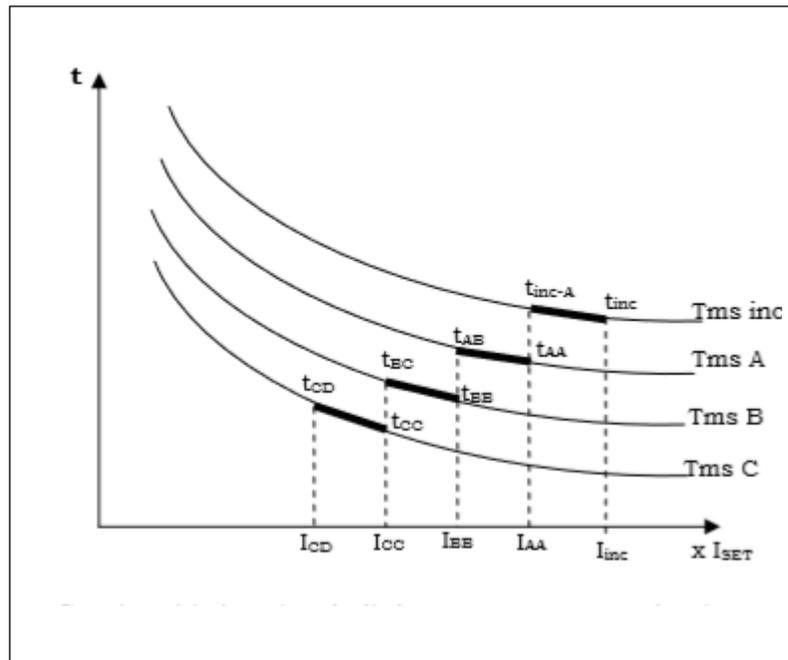
t_{inc} = Waktu kerja relai di bus incoming feeder.

Misal :

Rating trafo arus dan ISET rele di bus A, bus B dan bus C dianggap sama, sehingga bila terjadi gangguan hubung singkat jauh dari sumber, arus gangguan hubung singkatnya makin kecil, untuk itu ditetapkan $t_{cc} = 0,2-0,3$ detik.

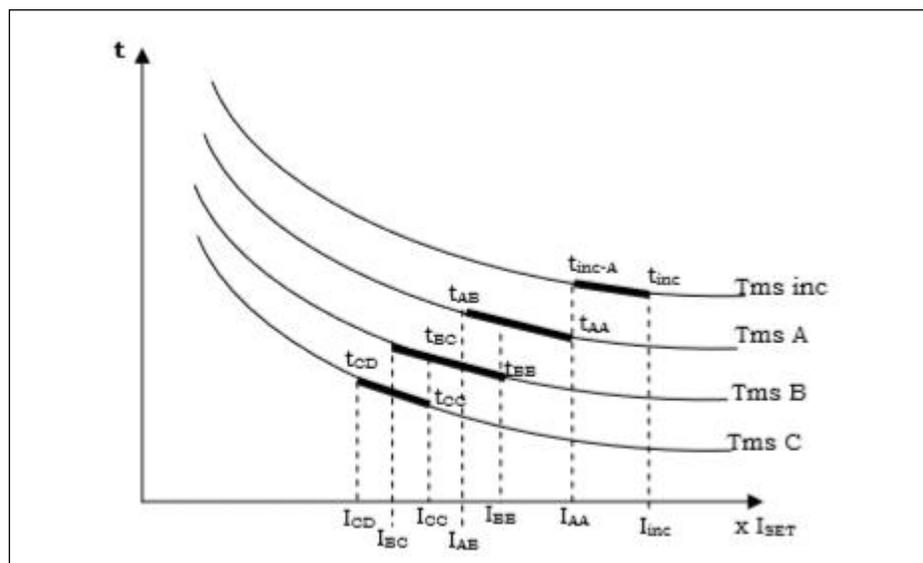
Dengan menggunakan rumus *normal inverse* seperti terlihat pada persamaan (1) di atas, dapat diperoleh koordinasi antara rele yang terpasang di bus C, bus B bus A dan *incoming*.

Apabila diplotkan kedalam karakteristik rele diperoleh seperti terlihat pada gambar 2.24



Gambar 2.24 Karakteristik Inverse Antara Arus Tiap Bus
Sumber : Wahyudi SN & Pribadi.K, 2000

Kalau dimisalkan : ISET tidak sama pada keempat rele atau ISET $C < ISET B < ISET A < ISET INC$ sehingga $ICC \neq IBC$, $IBB \neq IAB$ yang artinya arus gangguan didepan rele bus C yang masuk ke rele bus C terhadap ISETC akan lebih besar dibandingkan dengan arus gangguan tersebut terhadap ISETB, apabila diplotkan kedalam karakteristik rele diperoleh gambar 2.25 sebagai berikut :



Gambar 2.25 Karakteristik Rele Terhadap Arus Gangguan

Sumber : Wahyudi SN & Pribadi.K, 2000

Catatan :

ICD, ICC, IBC, IBB; IAB; IAA; IncA dan IncA adalah ratio antara Ifault/ISET, bila dalam perhitungan setting bila Ifault mempergunakan nilai primer dari trafo arus, maka ISET juga harus mempergunakan nilai primer trafo arus, demikian pula bila Ifault mempergunakan nilai sekunder dari trafo arus, maka ISET juga harus mempergunakan nilai sekunder trafo arus.

Sesuai penjelasan diatas bila $I_{SET C} < I_{SET B} < I_{SET A} < I_{SET A} < I_{SET INC}$, yang artinya $I_{SET B}$ dibuat lebih besar dari $I_{SET C}$.

Pemeriksaan ratio terhadap arus gangguan (I_{fault}) :

I_{fault} di bus B dan I_{fault} di bus C terhadap ISET rele di bus B Adalah

$$I_{BB} = \frac{I_{fault \text{ dibus B}}}{I_{SET \text{ relai B}}} \quad \text{dan} \quad I_{BC} = \frac{I_{fault \text{ dibus C}}}{I_{SET \text{ relai C}}}$$

Dapat diperbesar

Dengan demikian I_{BB} dan I_{BC} akan mengecil dan didalam karakteristik invers akan tergeser kekiri. Demikian pula bila ISET A dibuat lebih besar dari ISET B, juga hal yang sama akan terjadi pada IAA dan IAB.

Pengaruh perubahan kapasitas pembangkit pada setelan inverse.

Bila kapasitas pembangkit turun dengan impedansi sumber naik ($Z_S \nearrow$)

Dan I_{fault} turun.

Daerah kerja rele akan bergeser kekiri, yang artinya :

1. Waktu kerja rele menjadi lambat
2. Karakteristik invers untuk kerja rele semakin curam
3. Tunda waktu (Δt) menjadi lebih besar
4. Selektifitas tidak terganggu.

Bila kapasitas pembangkit naik dengan impedansi sumber turun ($Z_S \searrow$)

Dan I_{fault} naik, maka

Daerah kerja rele akan bergeser kekanan, yang artinya :

1. Waktu kerja rele menjadi cepat

2. Karakteristik invers untuk kerja rele landai
3. Tunda waktu (Δt) menjadi lebih kecil
4. Selektifitas mungkin terganggu.

Dari penjelasan tersebut di atas, sebaiknya rele *inverse* disetel berdasarkan kapasitas pembangkit maksimum, karena saat kondisi ini rele sudah dibuat selektif, yang kemungkinan yang terjadi adalah saat kapasitas pembangkit turun tidak berpengaruh pada selektifitasnya.

Kerugian pemakaian rele *inverse* :

Sensitive terhadap perubahan kapasitas pembangkitan

Keuntungan pemakaian rele *inverse*

Dapat menekan komulasi waktu dan rele bekerja cepat.

BAB 3

METODA PENELITIAN

3.1 Tempat Penelitian

Penelitian tugas akhir ini dilakukan di PT Angkasa Pura II (Persero) Bandar Udara Internasional Kualanamu - Deliserdang, Sumatera Utara. Bandar Udara Internasional Kualanamu - Deliserdang merupakan Badan Usaha Milik Negara yang bekerja dibidang penyedia jasa pelayanan penerbangan baik kepada penumpang, operator penerbangan dan pengguna jasa lain yang terkait dengan penerbangan.

3.2 Waktu Penelitian

Pelaksanaan Penelitian dari tugas akhir ini dimulai Januari 2019 sampai bulan Februari 2019. Adapun penulisan tugas akhir dimulai dari bulan Agustus 2018 sampai bulan Juni 2019.

3.3 Pengambilan Data

Jenis penelitian yang dipakai dalam penelitian ini adalah studi kasus Sistem Kelistrikan Bandara Internasional Kualanamu-Deliserdang, dimana dalam penelitian yang akan diteliti yaitu system proteksi jaringan Tegangan Menengah Bandara Internasional Kualanamu dengan menggunakan *software ETAP (Electrical Transient Analyzer Program)* 12.6. Data penelitian ini adalah data primer yang diperoleh dari Bandara Internasional Kualanamu-Deliserdang, khususnya data yang ada hubungannya dengan penelitian berupa data berikut :

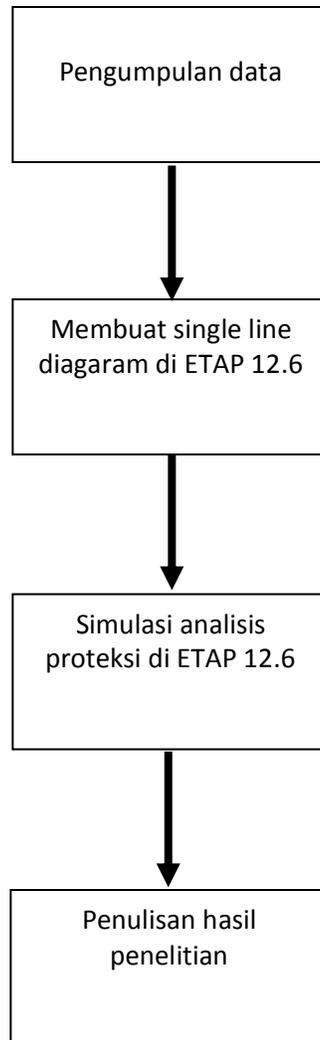
1. Data jaringan system kelistrikan Bandar Udara Internasional Kualanamu-Deliserdang (*Single Line Diagram*).
2. Data peralatan kelistrikan Bandar Udara Internasional Kualanamu-Deliserdang (Generator, Transformator, beban dan data pendukung lainnya).
3. Data koneksi jaringan kelistrikan Bandar Udara Internasional Kualanamu-Deliserdang dengan PLN.
4. Data unit pembangkit, transformator, panjang saluran dan beban dari PLN Kualanamau.

3.4 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian yang dilaksanakan ditunjukkan pada gambar 3.1 dalam melakukan penelitian ini dibutuhkan data-data pendukung antara lain data generator, transformator, beban dan data jaringan. Berdasarkan data ini akan dilakukan simulasi sesuai dengan situasi/keadaan dan juga spesifikasi peralatan dilapangan (mulai dari panjang jaringan, jenis kabel, spesifikasi generator, trafo, beban factor daya, dan lain-lain) yang dibentuk dalam suatu *single line diagram* pada *ETAP* 12.6.

Selanjutnya simulasi analisis proteksi jaringan tegangan menengah dilakukan satu persatu, baik pada saat terjadi gangguan pada daerah PLN, maupun terjadi gangguan pada saluran internal jaringan Bandara. Selain itu, simulasi dilakukan dengan melihat kehandalan setting proteksi jika terjadi gangguan pada Bandar Udara Internasional Kualanamu-Deliserdang. Dari hasil simulasi ini, kita dapat

melihat kondisi kehandalan system proteksi pada jaringan tegangan menengah Bandar Udara Internasional Kualanamu-Deliserdang, jika terjadi gangguan pada titik tertentu.



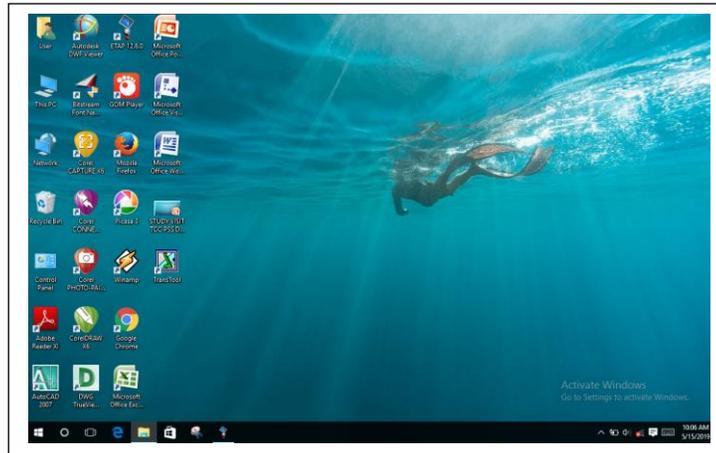
Gambar 3.1 Diagram Blok Penelitian

3.5 Langkah-langkah Menggunakan *Software ETAP*

Beriku langkah-langkah menjalankan *software ETAP 12.6* :

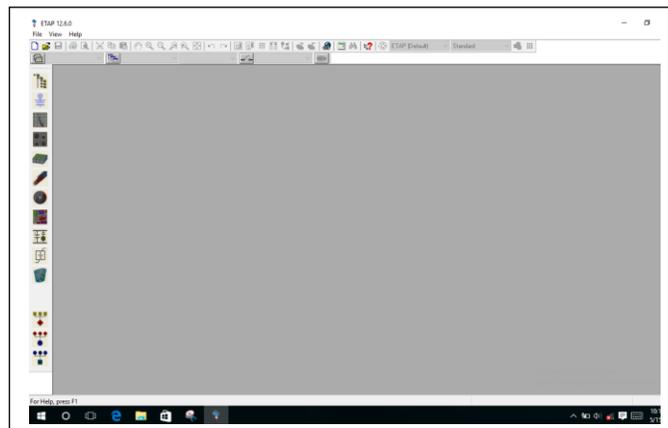
1. Jalankan *software ETAP*

Setelah menginstall *software ETAP* dikomputer ataupun di laptop, maka selanjutnya klik icon *ETAP*



Gambar 3.2 Icon *ETAP 12.6*
Sumber : Bambang Sugino, 2019

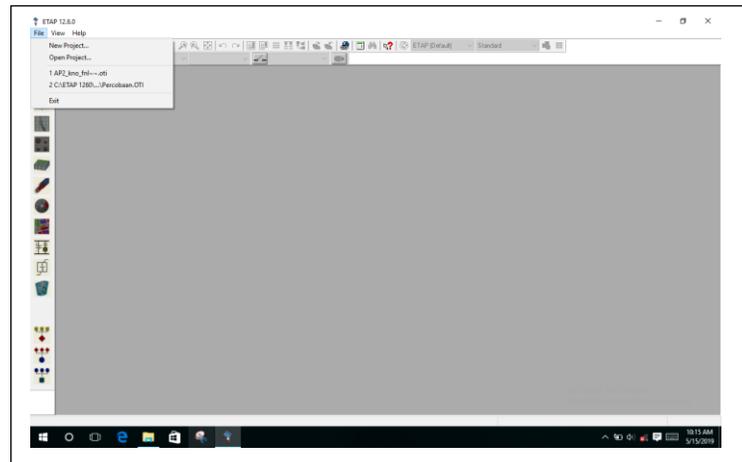
Setelah icon *ETAP* *double* klik pada desktop atau klik kiri pada *taskbar*, maka akan membuka jendela awal dari *software ETAP*.



Gambar 3.3 Tampilan Awal *ETAP 12.6*
Sumber : Bambang Sugino, 2019

2. Membuat *New Project*

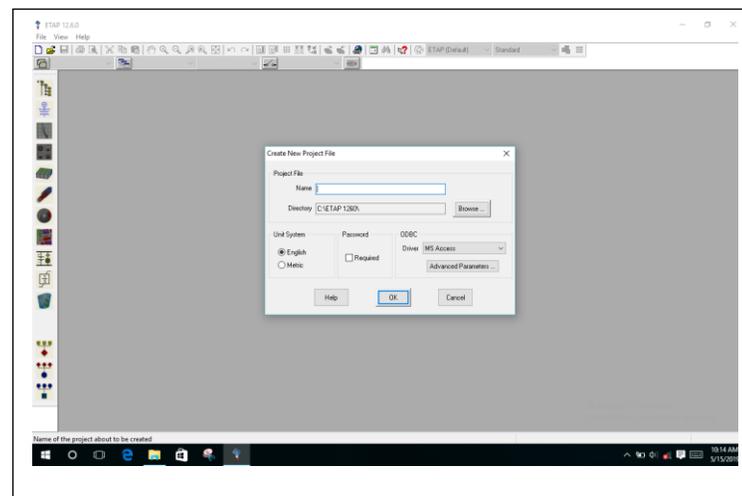
Setelah muncul tampilan awal seperti pada gambar 3.3 selanjutnya pilih menu file dan klik *new project*



Gambar 3.4 Tampilan Memilih *New Project*

Sumber : Bambang Sugino, 2019

Setelah itu akan muncul kotak dialog seperti gambar berikut :

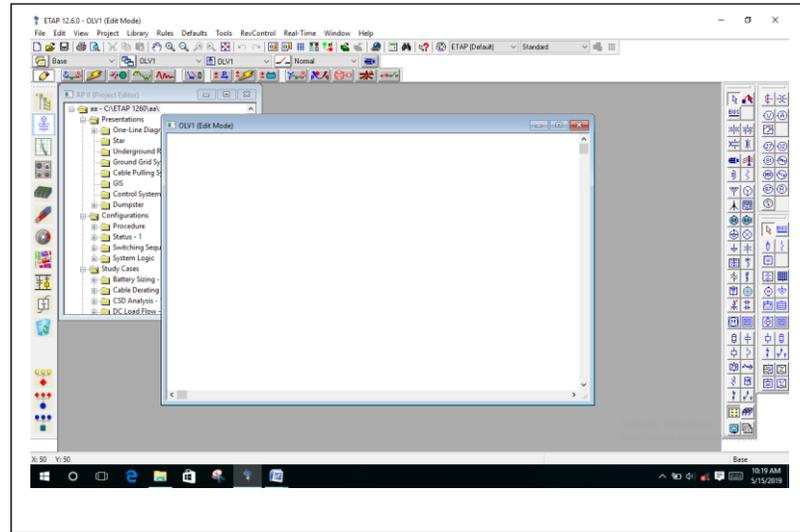


Gambar 3.5 Tampilan Kotak *Dialog New Project*

Sumber : Bambang Sugino, 2019

Sebelum tekan OK, pilih berdasarkan kebutuhan dari beberapa opsi yang ada dikotak dialog new project di atas. Namun yang paling utama adalah

jangan lupa menulis nama pada kolom *Project File Name* selanjutnya tekan *ENTER* atau klik OK. Maka muncul tampilan sebagai berikut :

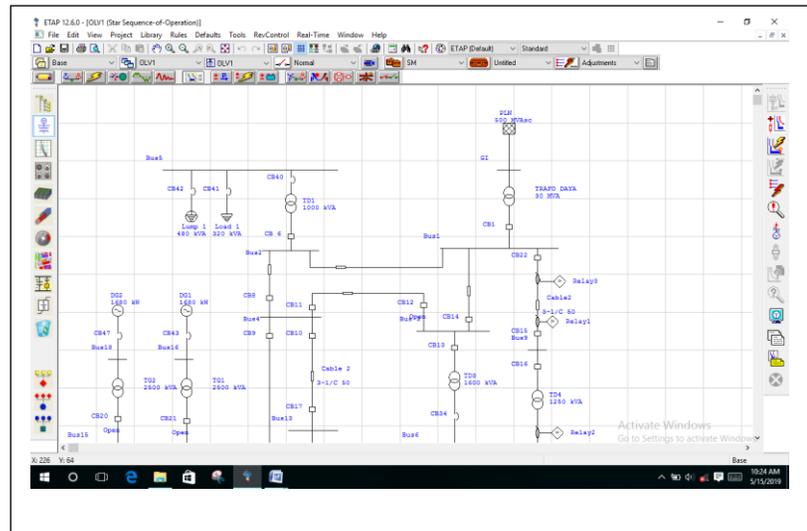


Gambar 3.6 Tampilan Utama ETAP 12.6

Sumber : Bambang Sugino, 2019

3. Membuat *single line diagram* suatu system tenaga listrik

Dapat dilihat pada gambar 3.6 setelah muncul layar utama dari *ETAP*, maka dilanjutkan dengan membuat *single line diagram* dari system tenaga listrik yang akan diteliti. Untuk menggambar *single line diagram*, dapat digunakan *Edit Toolbar* pada sisi kanan, tampilan utama *ETAP 12.6* setelah dilakukan penggambaran *single line diagram* system tenaga listrik, maka terlihatlah seperti gambar berikut :



Gambar 3.7 Singel Line Diagram ETAP 12.6

Sumber : Bambang Sugino, 2019

4. Memasukkan Data Peralatan

Setelah suatu system tenaga listrik dipresentasikan dalam *single line diagram* di ETAP, maka selanjutnya memasukkan data pada peralatan-peralatan. Data yang dibutuhkan adalah data pada generator, bus, transmisi, transformator, pengaman dan beban pada system.

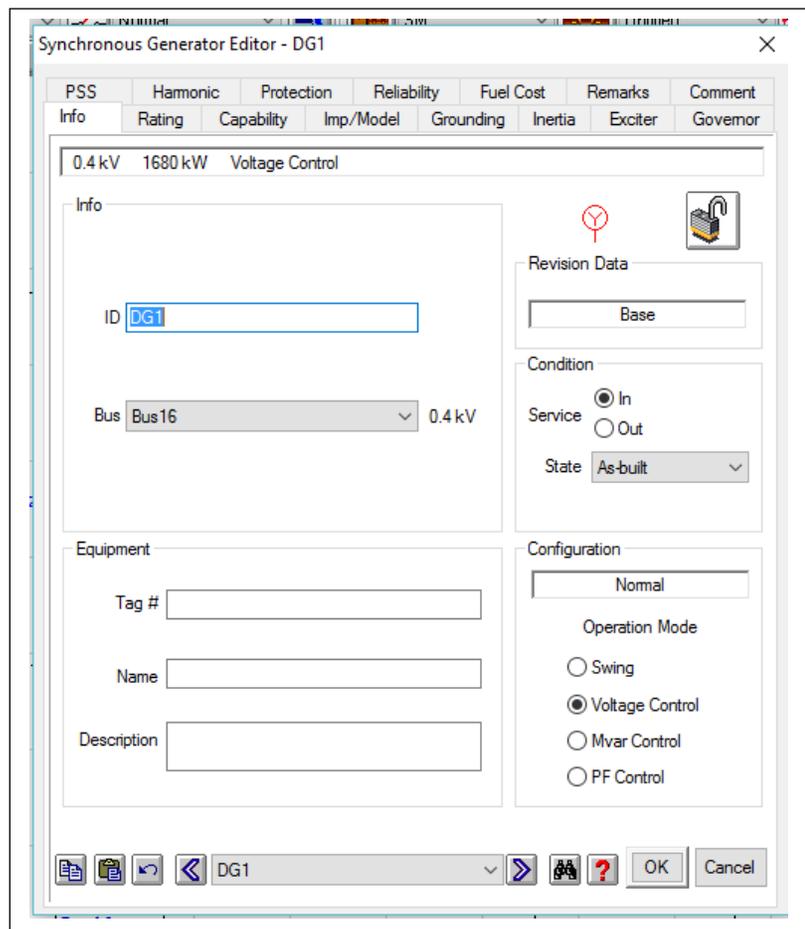
a. Data Pembangkit – Generator

Data generator yang dibutuhkan :

- *ID* Generator
- Generator *type* (*steam* generator, diesel, turbo, hydro, hydro w/o damping)
- *Operating mode* (*swing*, *voltage control*, *PF control* dan *Mvar control*)
- Rating Tegangan
- % V dan sudut untuk mode operasi *swing*

- %V, MW loading dan *Wvar limits* (Q_{max} dan Q_{min}) untuk mode operasi *Voltage Control*
- MW dan *Mvar loading* untuk mode operasi *Mvar control*

Tampilan data generator program *ETAP 12.6* dapat dilihat pada gambar di bawah ini



Gambar 3.8 Tampilan Data Generator pada *ETAP 12.6*

Sumber : Bambang Sugino, 2019

b. Data Transformator

Data Transformator yang dibutuhkan program *ETAP 12.6* adalah :

- *ID* transformator

- Rating tegangan disisi primer dan sekunder
- *Rated MVA*
- Impedansi (% Z dan X/R)
- *Fixed tap* (%tap)

Tampilan data transformator pada program *ETAP* 12.6 terdapat pada gambar dibawah ini

Gambar 3.9 Tampilan Data Transformator pada *ETAP* 12.6
Sumber : Bambang Sugino, 2019

c. Data Beban

Ada dua jenis beban dalam program *ETAP* 12.6 yaitu beban statis (*Static load*) dan gabungan beban statis dan beban motor (*lumped load*). *Static Load* merupakan beban-beban resistif seperti beban rumah tangga, sedangkan *lumped load* merupakan beban statis dan beban induktif seperti pada industry.

c.1 *Static Load*

Data beban statis yang dibutuhkan pada *ETAP* 12.6 adalah :

- ID Beban
- Rating Tegangan (kV), Daya Semu (MVA) dan factor daya
- *Loading Category* dan % *Loading*

The screenshot shows the 'Static Load Editor - Load 1' dialog box. The 'Info' tab is active, displaying the following data: ID: Load 1, Bus: Bus5, 0.4 kV. The 'Equipment' section includes fields for Tag #, Name, and Description. The 'Data Type' is set to 'Estimated', 'Priority' to 'Other', and 'Load Type' to 'Other'. The 'Demand Factor' section shows 'Continuous' at 100%, 'Intermittent' at 50%, and 'Spare' at 0%. The 'Revision Data' is set to 'Base'. The 'Condition' section has 'Service' set to 'In' and 'State' set to 'As-built'. The 'Configuration' section shows 'Normal' and 'Status' set to 'Continuous'. The 'Connection' section has '3 Phase' selected. The 'Reference kV' section has 'Calculated' selected. The dialog also includes 'OK' and 'Cancel' buttons at the bottom right.

Gambar 3.10 Tampilan Data Beban Static pada *ETAP* 12.6
Sumber : Bambang Sugino, 2019

c.2 Lumped Load

Data beban lumped load yang dibutuhkan pada *ETAP* 12.6 adalah :

- *ID* beban
- Rating Tegangan (kV), Daya semu (MVA), factor daya, dan perbandingan beban motor dan beban statis dalam persen (%)
- *Loading category ID* dan % *Loading*

Lumped Load Editor - Lump 1

Info Nameplate Short-Circuit Dyn Model Reliability Remarks Comment

480 kVA 0.4 kV (80% Motor 20% Static)

Model Type: Conventional Rated kV: 0.4 Calculator...

Ratings: kVA: 480 kW: 408 kvar: 253 % PF: 85 Amp: 692.8

Load Type: 0 Constant kVA 80% 100 100 Constant Z 0

		Motor Load			Static Load	
	Loading Category	% Loading	kW	kvar	kW	kvar
1	Design	100	326.4	202.3	81.6	50.57
2	Normal	100	326.4	202.3	81.6	50.57
3	Brake	0	0	0	0	0
4	Winter Load	0	0	0	0	0
5	Summer Load	0	0	0	0	0
6	FL Reject	0	0	0	0	0
7	Emergency	0	0	0	0	0
8	Shutdown	0	0	0	0	0

Operating: 0 0 0 0 kW +j kvar

Buttons: [Icons] Lumped Load Editor - Lump 1 [OK] [Cancel]

Gambar 3.11 Tampilan Data *Lumped Load* pada *ETAP* 12.6

Sumber : Bambang Sugino, 2019

d. Data Bus

Data bus yang dibutuhkan program *ETAP* 12.6 adalah :

- ID bus dan Nominal KV
- %V dan *angle* (bila *initial condition* digunakan untuk tegangan bus)

Tampilan data bus pada program *ETAP* 12.6 seperti pada gambar di bawah ini :

The screenshot shows the 'Bus Editor - Bus5' dialog box. It has a title bar and a menu bar with 'Hammonic', 'Reliability', 'Remarks', and 'Comment'. Below the menu bar are tabs for 'Info', 'Phase V', 'Load', 'Motor/Gen', 'Rating', 'Arc Flash', and 'Protection'. The 'Info' tab is active, showing the following fields:

- 0.4 kV 0 Amps (Nominal Voltage) and Peak 0 kA (Peak Current)
- Info section: ID 'Bus5', Nominal kV '0.4'
- Bus Voltage section: Initial % V '100', kV '0.4', Angle '0'; Operating % V '0', kV '0', Angle '0'
- Equipment section: Tag #, Name, and Description fields
- Classification section: Zone '1', Area '1', Region '1' (each with a dropdown menu)
- Condition section: Service radio buttons for 'In' (selected) and 'Out'; State dropdown menu set to 'As-built'
- Connection section: Radio buttons for '3 Phase' (selected), '1 Phase 2W', and '1 Phase 3W'
- Load Diversity Factor section: Min. '80 %' and Max. '125 %'

At the bottom, there is a toolbar with icons for file operations and a status bar showing 'Bus5' and 'OK'/'Cancel' buttons.

Gambar 3.12 Tampilan Data Bus pada *ETAP* 12.6
Sumber : Bambang Sugino, 2019

e. Data Pengaman Pemutus Tenaga (*CB*)

Data pengaman (*high voltage circuit breaker*) yang digunakan untuk pada *ETAP 12.6* adalah :

- *ID Circuit Breaker*
- Rating Tegangan (kV), rating Arus (*Ampere*) dan *AC Breaking*

Data pengaman dapat dipilih pada *library*

Gambar 3.13 Tampilan Data *Circuit Breaker* pada *ETAP 12.6*

Sumber : Bambang Sugino, 2019

f. Data Rele

Data Rele yang digunakan untuk pada *ETAP 12.6* adalah :

- *ID Rele.*

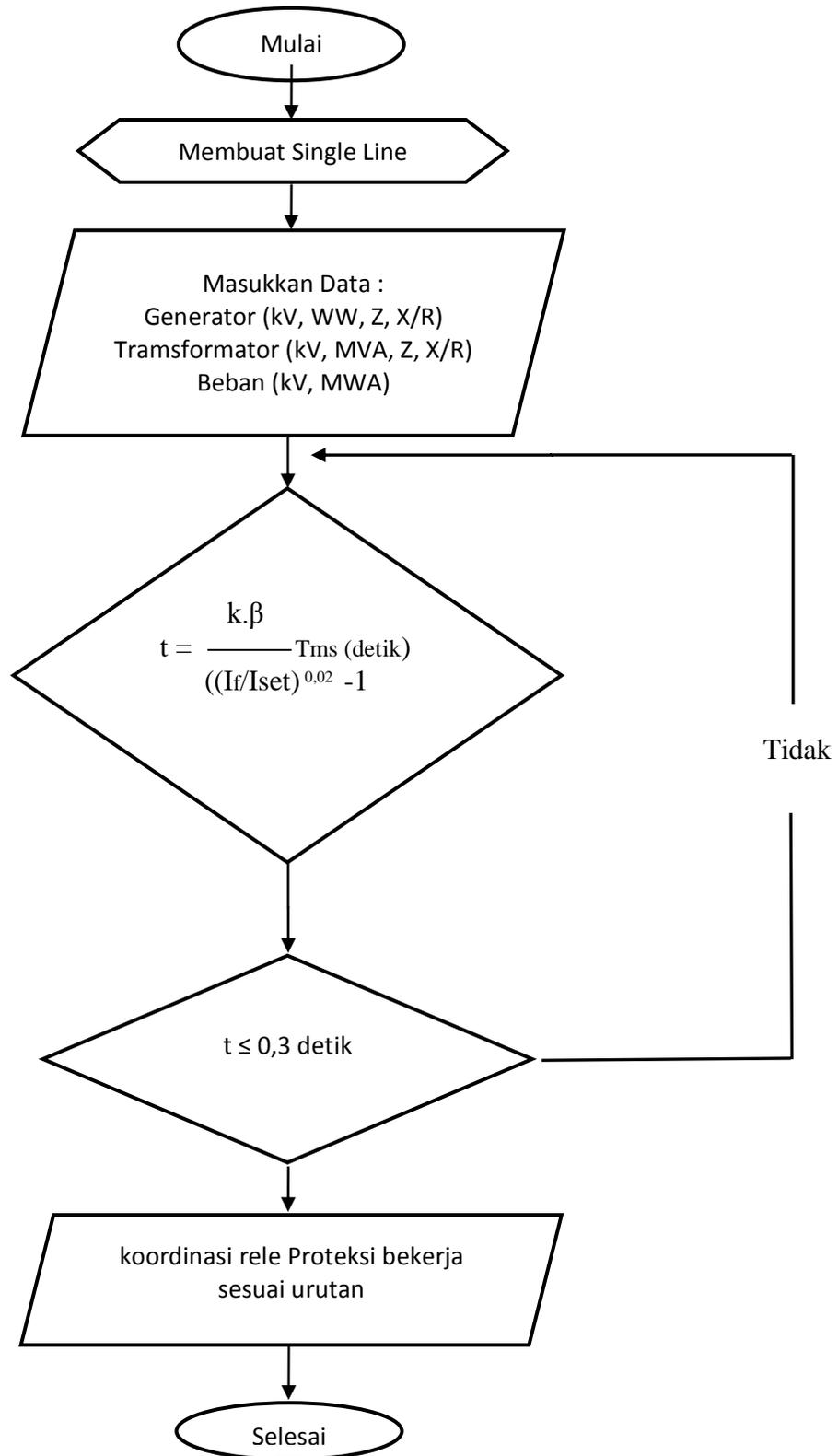
- Pada *library* untuk mengetahui *Manufactur*, model, *function* rele yang digunakan.
- Pada tab *input*, tentukan acuan Trafo arus dan Trafo Tegangan yang digunakan rele.
- Pada tab *output*, tentukan sambungan *interlock* rele ke *circuit breaker*.
- Pada tab *OCR*, tentukan element, type kurva, rentang arus *pick up*, arus *pick up* dan *time dial* dari rele yang akan digunakan.

Gambar 3.14 Tampilan Data Over Current Rele pada ETAP 12.6
 Sumber : Bambang Sugino, 2019

Setelah seluruh data peralatan telah diinput, maka selanjutnya melakukan analisis system tenaga listrik.

3.5.1 Analisis Sistem Proteksi

Gambar di bawah ini merupakan alir (*flow chart*) studi system proteksi atau koordinasi proteksi menggunakan *ETAP* 12.6, dimana proses pertama dimulai hingga keluar program.



Gambar 3.15 Diagram Alir Analisis Sistem koordinasi Proteksi pada ETAP 12.6

Proses analisis system koordinasi proteksi menggunakan *ETAP* 12.6 adalah sebagai berikut :

1. Membuat *single line diagram* system;
2. Memasukkan data generator, transformator, bus, kabel , rele dan beban ke dalam program setelah *single line diagram* dibuat;
3. Jalankan analisis aliran daya dengan memilih icon *Load Flow Analysis* pada toolbar untuk mengetahui arus yang mengalir;
4. Klik *Star-Protective Device Coordination* kemudian tentukan jenis gangguan yang akan diuji (gangguan 3 fasa, gangguan 1 fasa ke tanah, gangguan fasa ke fasa atau gangguan 2 fasa ke tanah);
5. *Single line diagram* akan menampilkan animasi berkedip yang menunjukkan urutan kerja perangkat proteksi.
6. Untuk mengetahui waktu kerja perangkat proteksi tersebut klik *sequence viewer* yang akan menampilkan waktu trip dan arus gangguan yang mengalir.

BAB 4

HASIL PENELITIAN

4.1 Perencanaan Simulasi

Perencanaan simulasi yang dilakukan pada *software ETAP 12.6* ini, yakni menggunakan pilihan simulasi koordinasi perangkat proteksi (*Protective Device Coordination*). Tujuan utama penelitian ini, yaitu menganalisis setelan perangkat proteksi pada jaringan Non Priority, dengan adanya gangguan pada jaringan Non Priority Tegangan Menengah Bandara Kualanmu.

Skenario yang dilakukan, dengan memberikan gangguan hubung singkat pada titik tertentu yang mengakibatkan terjadinya pemutusan beban karena bekerjanya rele dan urutan atau koordinasi rele yang akan bekerja.

Adapun hal yang akan diamati pada penelitian ini adalah :

- a. Setelan waktu proteksi
- b. Urutan rele yang bekerja

Pada standard PLN, kurva karakteristik untuk rele arus lebih yang biasa digunakan adalah karakteristik waktu terbalik (*standard//normal inverse*). Persamaan untuk menentukan *Time Multiplier Setting (TMS)* pada rele arus lebih adalah :

$$t = \frac{k \cdot \beta}{((I_f/I_{set})^{0.02} - 1)} \quad \text{Tms (detik)} \quad 4.1$$

$$t = \frac{k \cdot 0,14}{((I_f/I_{set})^{0.02} - 1)} \quad \text{Tms (detik)} \quad 4.2$$

Dimana :

If = Arus gangguan hubung singkat (A)

Iset = Arus setting yang dimasukkan ke rele (A)

t = Waktu trip rele

k = setelan skala pengali waktu (*time multiplier setting*TMS)

β = Standard Invers (N) = 0,14

Tabel 4.1 Karakteristik Rele Inverse

	A	β	T ₁₀
<i>Standard Invers (N)</i>	0.02	0.14	3.0
<i>Very Invers (V)</i>	1.0	13.5	1.5
<i>Extremely Invers (E)</i>	2.0	80.0	0.8

Sumber : Bambang Sugino, 2019

Berikut beberapa variasi skenario yang akan dilakukan pada penelitian ini :

I. Untuk system Jaringan Non Priority *Open Ring* Sisi Kanan (RSaNPSS9 s.d PLN2KNG)

- a. Simulasi *Star- Protective Device Coordination* dengan gangguan 3 fasa pada kabel antara RSb8NP dan RSa9NP
- b. Simulasi *Star- Protective Device Coordination* dengan gangguan 3 fasa pada busbar *switchgear* 20 KV SST RSb14NP

II. Untuk system Jaringan Non Priority *Open Ring* Sisi Kiri (RSaNPSS8 s.d PLN1KNA)

- a. Simulasi *Star- Protective Device Coordination* dengan gangguan 3 fasa pada kabel antara RSa8NP dan RSb10NP
- b. Simulasi *Star- Protective Device Coordination* dengan gangguan 3 fasa pada busbar *switchgear* 20 KV SST RSb17NP

4.2 Data Penelitian

Untuk system Jaringan Non Priority

Single Line Diagram Jaringan Tegangan Menengah Bandara Kualanamu pada lampiran 1.

Tabel 4.2 Data Penyulang PLN

Rated (kV)	Daya (MW)	ID	Mvar	Rating	SC Rating	X/R
150	6,069	GI Kualanamu 2	0,883	100	3384,46	0,05

Sumber : Bambang Sugino, 2019

Tabel 4.3 Data Trafo Gardu Hubung PLN

Type/ Sub Type	Class	Prim/Sec	Grounding			Power Rating
			Vector	Prim	Sec	
Liquid-fill	ONAN	150/20 kv	Dyn5	Not Aplicab	Resistor/40ohm	30 MVA
Liquid-fill	ONAN	150/20 kv	Dyn5	Not Aplicab	Resistor/40ohm	30 MVA

Sumber : Bambang Sugino, 2019

Tabel 4.4 Data Beban Jaringan Non Priority

Beban Dinamis / Lump Load			
Nama Komponen	Daya (MW)	Daya (MVA)	% PF
SST 15 Pompa Banjir	0,175	0,180	97
SST 13 PKPPK	0,175	0,180	97
SST 10 Kargo	0,8827	0,91	97
SST 8.1NP	0,296	0,304	97,4
SST 8.2NP	0,296	0,304	97,4
SST 8.3NP	0,296	0,304	97,4
SST 8.4NP	0,463	0,475	97,4
SST 9.1NP	0,296	0,304	97,4
SST 9.2NP	0,296	0,304	97,4
SST 9.3NP	0,296	0,304	97,4
SST 9.4NP	0,463	0,475	97,4
SST 11 Parkir	0,119	0,120	99
SST 14 Administrasi	0,151	0,155	97,4

Sumber : Bambang Sugino, 2019

Tabel 4.5 Data Circuit Braker High Voltage

Model / Class	Manufacturer
MCset SF 1-40	MerlinGerlin

Sumber : Bambang Sugino, 2019

Tabel 4.6 Data Rele

Model / Class	Manufacturer
Sepam Series 40	Schneider
Sepam Series 20	Schneider

Sumber : Bambang Sugino, 2019

4.3 Hasil Simulasi

I. Untuk system Jaringan Non Priority *Open Ring* Sisi Kanan (RSaNPSST9 s.d PLN2KNG)

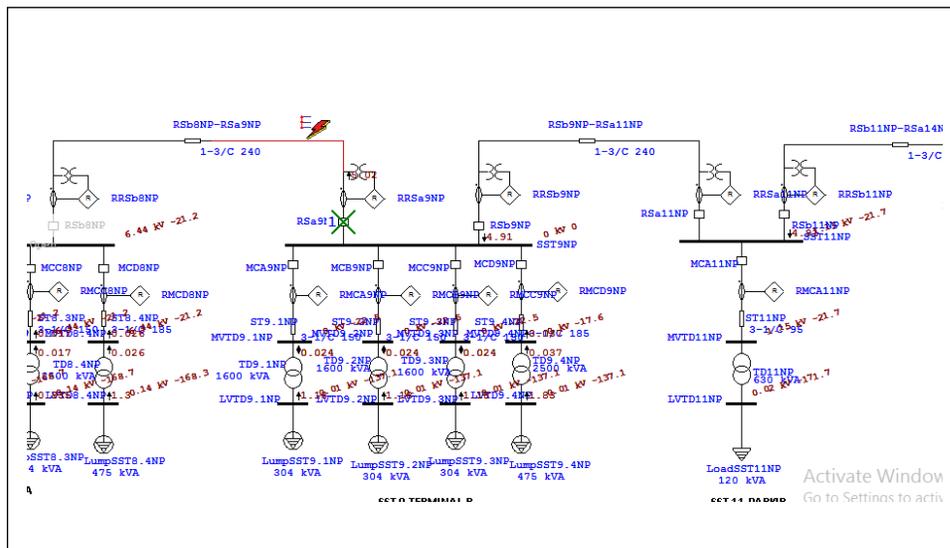
- a. Simulasi *Star- Protective Device Coordination* dengan gangguan 3 fasa pada kabel antara RSb8NP dan RSa9NP

Tabel 4.7 Skenario Kejadian dan Aksi Simulasi Gangguan 3 fasa pada Kabel antara RSb8NP dan RSa9NP

Nama Kejadian	Type Komponen	Nama Komponen	Aksi
SS	Kabel	RSb8NP - RSa9NP	3 Phase Fault

Sumber : Bambang Sugino, 2019

Untuk skenario ini gangguan disimulasikan terjadi pada kabel RSb8NP - RSa9NP untuk mengevaluasi *time grading* dan urutan rele yang akan bekerja.



Gambar 4.1 Memperlihatkan Letak Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa untuk Simulasi Ini.

Sumber : Bambang Sugino, 2019

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

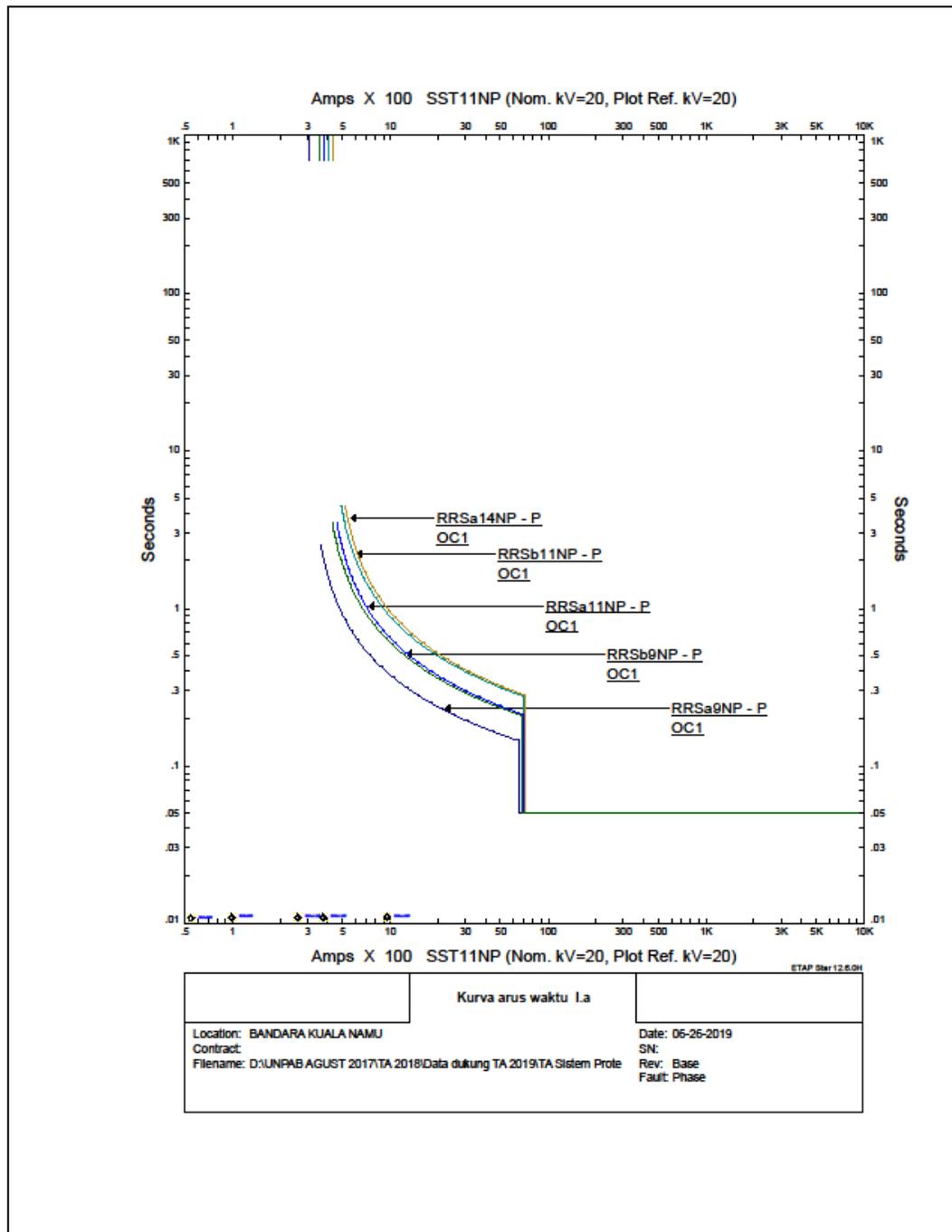
3-Phase (Symmetrical) fault on connector between RSb8NP-RSa9NP & PT22. Adjacent bus: SST9NP

Data Rev.: Base Config: PLN 2 OPRING Date: 05-22-2019

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
158	RRSa9NP	5.019	158		Phase - OC1 - 51
223	RSa9NP		65.0		Tripped by RRSa9NP Phase - OC1 - 51
234	RRSb9NP	4.912	234		Phase - OC1 - 51
241	RRSa11NP	4.912	241		Phase - OC1 - 51
299	RSb9NP		65.0		Tripped by RRSb9NP Phase - OC1 - 51
306	RSa11NP		65.0		Tripped by RRSa11NP Phase - OC1 - 51
316	RRSb11NP	4.912	316		Phase - OC1 - 51
324	RRSa14NP	4.912	324		Phase - OC1 - 51
381	RSb11NP		65.0		Tripped by RRSb11NP Phase - OC1 - 51
389	RSa14NP		65.0		Tripped by RRSa14NP Phase - OC1 - 51
404	RRSb14NP	4.905	404		Phase - OC1 - 51
432	RKNJ	4.905	432		Phase - OC1 - 51
469	RSb14NP		65.0		Tripped by RRSb14NP Phase - OC1 - 51
497	KNJ		65.0		Tripped by RKNJ Phase - OC1 - 51
527	RKNG	4.805	527		Phase - OC1 - 51
592	KNG		65.0		Tripped by RKNG Phase - OC1 - 51

Gambar 4.2 Hasil Simulasi Waktu Trip Serta Arus Gangguan yang Mengalir pada Proteksi

Sumber : Bambang Sugino, 2019



Sumber : Bambang Sugino, 2019

Kurva Arus Waktu Proteksi yang Bekerja pada Gangguan 3 Fasa pada Kabel antara RSb8NP dan RSa9NP

Berdasarkan gambar 4.2 *time grading* urutan kerja rele adalah sebagai berikut :

Tabel 4.8 Urutan Kerja Rele

NO	NAMA RELE I	WAKTU (s)	NAMA RELE II	WAKTU (s)	ARUS GANGGUAN (kA)	MARGIN/SELISIH WAKTU RELE I & RELE II /TIME GRADING (s)
1	RRSa9NP	0,158	RRSb9NP	0,234	5.019	0,076
2	RRSb9NP	0,234	RRSa11NP	0,241	4.912	0,007
3	RRSa11NP	0,241	RRSb11NP	0,316	4.912	0,075
4	RRSb11NP	0,316	RRSa14NP	0,324	4.912	0,007

Sumber : Bambang Sugino, 2019

Dari keempat rele yang bekerja di atas, terlihat bahwa *time grading* antar rele pada saat terjadi gangguan 3 fasa rata-rata adalah 0,04125s. Interval waktu yang diperlukan untuk koordinasi antar rele dengan waktu 0,5s masih dikatakan normal. Dengan kemajuan system proteksi saat ini tundaan waktu dapat diminimalisir menjadi 0,4s. Ini adalah interval minimum yang memungkinkan rele dan CB untuk menghapus gangguan di zona proteksinya, sesuai Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN) bahwa waktu pemutusan gangguan untuk gangguan hubung singkat fasa-fasa/3 fasa, harus kurang dari atau sama dengan 400 milidetik atau 0,4s.

Dengan melihat nilai rata-rata interval waktu 0,04125s, menunjukkan tundaan waktu kerja antar rele masih dibawah normal.

Mengacu pada aturan PLN untuk waktu interval antar rele 0,3 – 0,4 detik pada Simulasi *Star- Protective Device Coordination* dengan gangguan 3 fasa pada kabel antara RSb8NP dan RSa9NP serta mengacu formula *TMS*, didapati perbandingan waktu kerja rele antara perhitungan dan hasil simulasi sebagai berikut dengan I_f merupakan arus gangguan terdekat dengan beban 5,019 kA (data dari *short circuit analysis ETAP 12.6*), I set merupakan arus beban *full load* 2.008 A (data dari *load flow analysis ETAP 12.6*).

Tabel 4.9 Perbandingan Waktu Kerja Rele

No	NAMA RELE	Waktu kerja rele hasil simulasi (s)	Waktu kerja rele hasil perhitungan formula (s)	Keterangan
1	RRSa9NP	0,158	0,757	
2	RRSb9NP	0,234	1,057	
3	RRSa11NP	0,241	1,357	
4	RRSb11NP	0,316	1,657	

Sumber : Bambang Sugino, 2019

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
384	RRSb14NP	5.522	384		Phase - OC1 - 51
409	RKNJ	5.522	409		Phase - OC1 - 51
449	RSb14NP		65.0		Tripped by RRSb14NP Phase - OC1 - 51
474	KNJ		65.0		Tripped by RKNJ Phase - OC1 - 51
498	RKNG	5.41	498		Phase - OC1 - 51
563	KNG		65.0		Tripped by RKNG Phase - OC1 - 51

Gambar 4.4 Berikut Hasil Simulasi Waktu Trip Serta Arus Gangguan yang Mengalir pada Proteksi

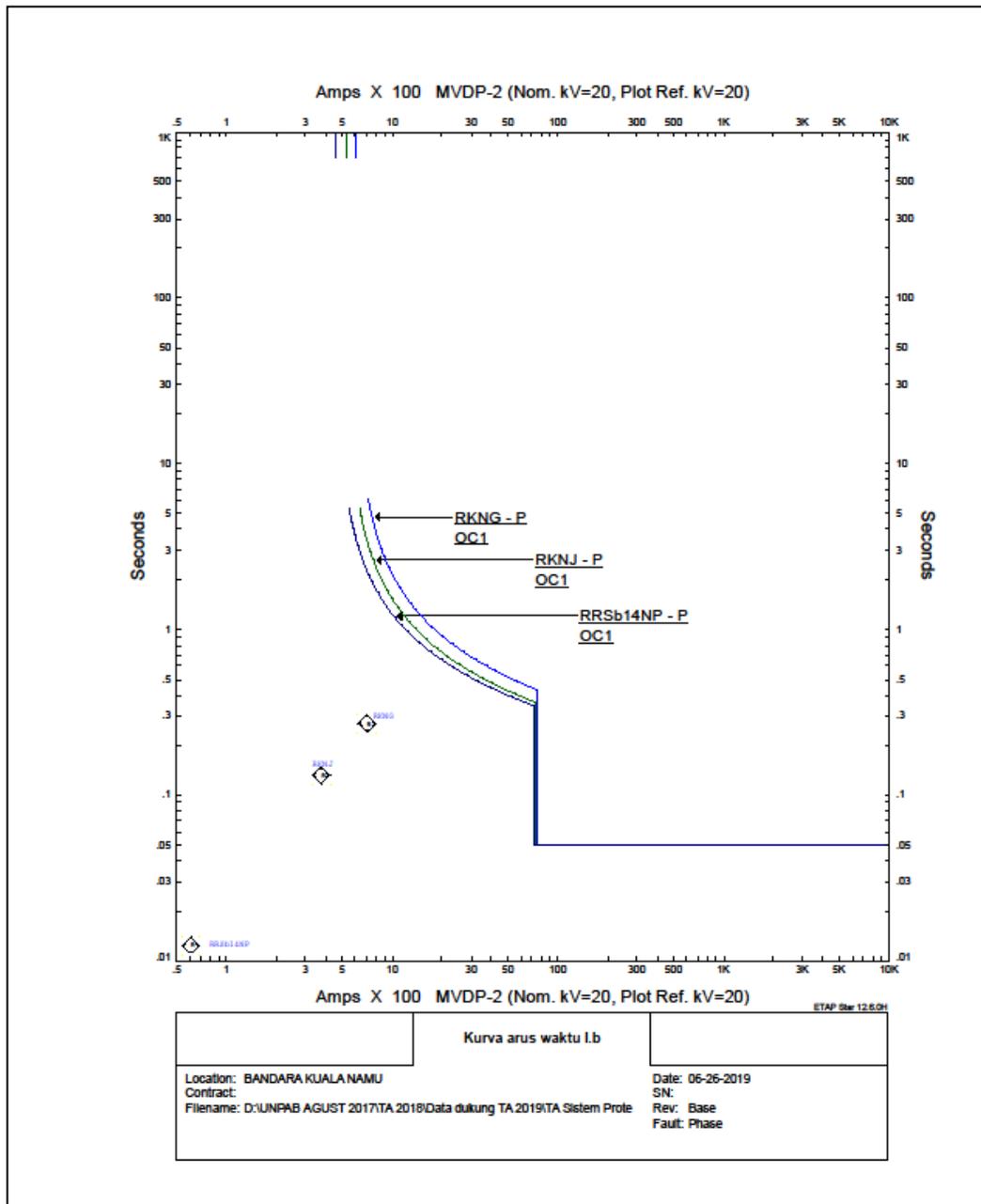
Sumber : Bambang Sugino, 2019

Berdasarkan gambar 4.4 *time grading* urutan kerja rele adalah sebagai berikut :

Tabel 4.11 Urutan Kerja Rele

NO	NAMA RELE I	WAKTU (s)	NAMA RELE II	WAKTU (s)	ARUS GANGGUAN (kA)	MARGIN/SELISIH WAKTU RELE I & RELE II /TIME GRADING (s)
1	RRSb14NP	0,384	RKNJ	0,409	5.522	0,025
2	RKNJ	0,409	RKNG	0,498	5.410	0,089

Sumber : Bambang Sugino, 2019



Si.....

**Kurva Arus Waktu Proteksi yang Bekerja pada Gangguan 3 Fasa pada Busbar
Switchgear 20 KV SST RSb14NP**

Dari ketiga rele yang bekerja di atas, terlihat bahwa *time grading* antar rele pada saat terjadi gangguan 3 fasa rata-rata adalah 0,0285s. Interval waktu yang diperlukan untuk koordinasi antar rele dengan waktu 0,5s masih dikatakan normal. Dengan kemajuan system proteksi saat ini tundaan waktu dapat diminimalisir menjadi 0,4s. Ini adalah interval minimum yang memungkinkan rele dan CB untuk menghapus gangguan di zona proteksinya, sesuai Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN) bahwa waktu pemutusan gangguan untuk gangguan hubung singkat fasa-fasa/3 fasa, harus kurang dari atau sama dengan 400 milidetik atau 0,4s.

Dengan melihat nilai rata-rata interval waktu 0,0285s, menunjukkan tundaan waktu kerja antar rele masih dibawah normal.

Mengacu pada aturan PLN untuk waktu interval antar rele 0,3 – 0,4 detik pada Simulasi *Star- Protective Device Coordination* dengan gangguan 3 fasa pada busbar switchgear 20 KV SST RSb14NP serta mengacu formula *TMS*, didapati perbandingan waktu kerja rele antara perhitungan dan hasil simulasi sebagai berikut dengan If merupakan arus gangguan terdekat dengan beban 0,313 kA (data dari *short circuit analysis ETAP 12.6*) , I set merupakan arus beban *full load* 223,2 A (data dari *load flow analysis ETAP 12.6*).

Tabel 4.12 Perbandingan Waktu Kerja Rele

No	NAMA RELE	Waktu kerja rele hasil simulasi (s)	Waktu kerja rele hasil perhitungan formula (s)	Keterangan
1	RRSb14NP	0,384	2,096	
2	RKNJ	0,409	2,396	
3	RKNG	0,498	2,696	

Sumber : Bambang Sugino, 2019

II. Untuk system Jaringan Non Priority *Open Ring* Sisi Kiri (RSaNPSST8 s.d PLN1KNA)

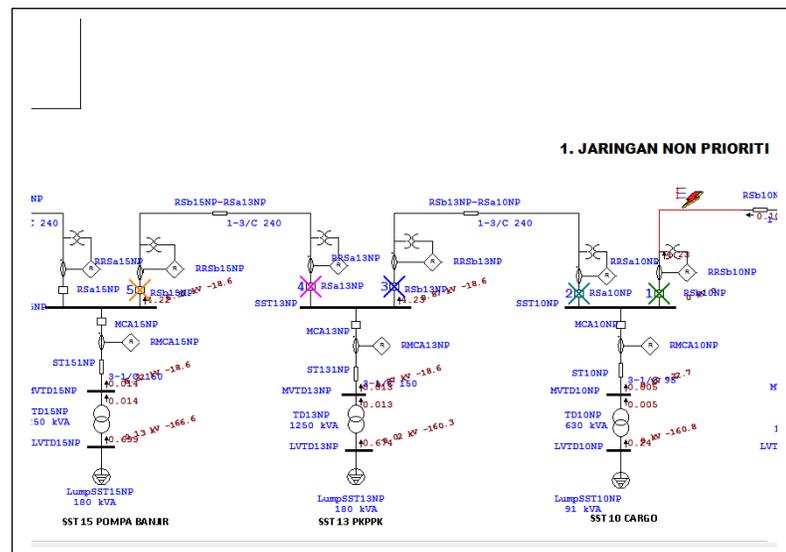
- a. Simulasi *Star- Protective Device Coordination* dengan gangguan 3 fasa pada kabel antara RSa8NP dan RSb10NP

Tabel 4.13 Skenario Kejadian dan Aksi Simulasi Gangguan 3 Fasa pada Kabel antara RSa8NP dan RSb10NP

Nama Kejadian	Type Komponen	Nama Komponen	Aksi
SS	Kabel	RSb10NP - RSa8NP	3 Phase Fault

Sumber : Bambang Sugino, 2019

Untuk scenario ini gangguan disimulasikan terjadi pada kabel RSb10NP - RSa8NP untuk mengevaluasi *time grading* dan urutan rele yang akan bekerja.



Gambar 4.5 Memperlihatkan Letak Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa untuk Simulasi Ini.

Sumber : Bambang Sugino, 2019

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

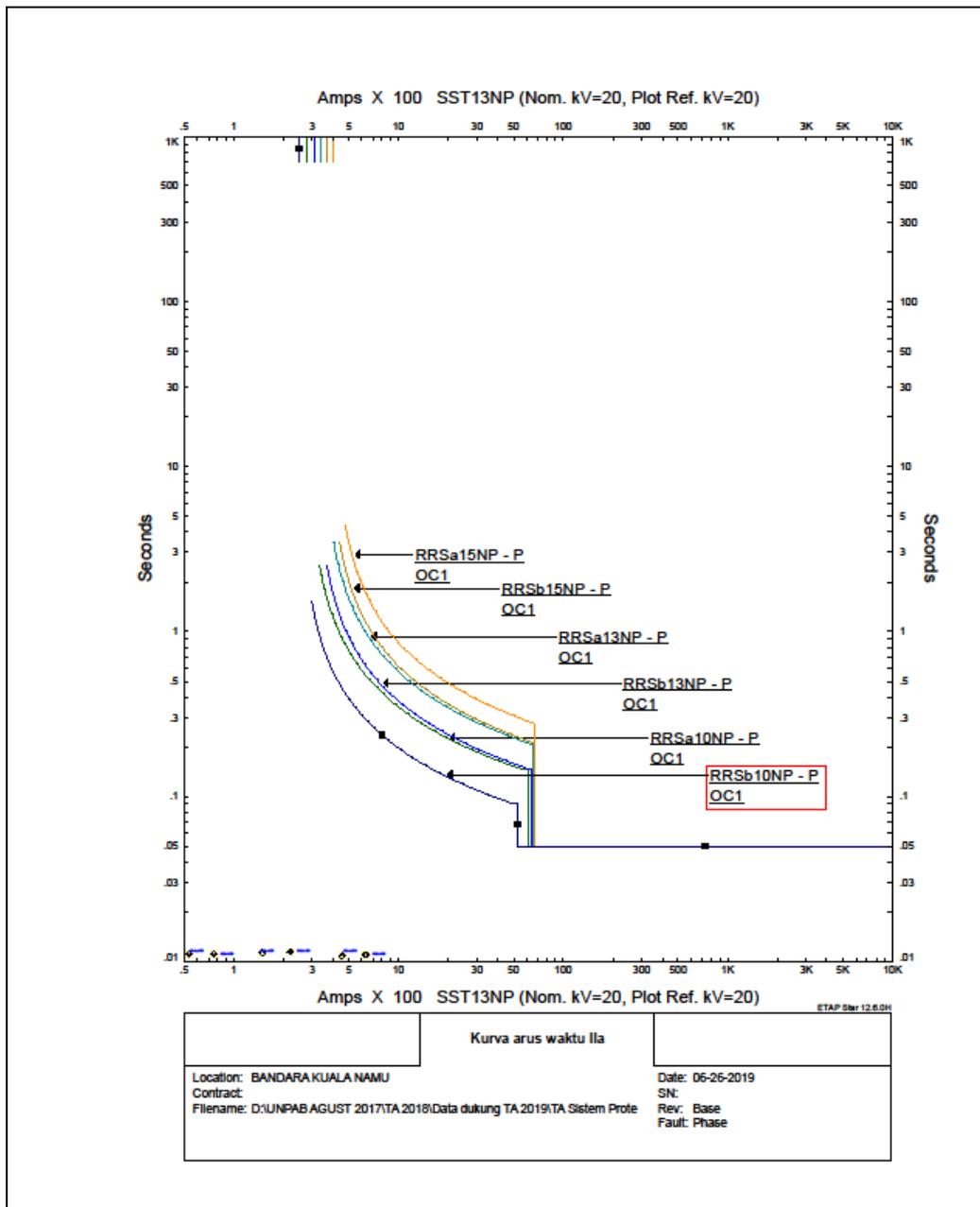
3-Phase (Symmetrical) fault on connector between RSB10NP-RSa8NP & PT19. Adjacent bus: SST10NP

Data Rev.: Base Config: PLN 2 OPRING Date: 05-22-2019

Time (ms)	ID	If (k-A)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
96.0	RRSb10NP	4.235	96.0		Phase - OC1 - 51
161	RSb10NP		65.0		Tripped by RRSb10NP Phase - OC1 - 51
163	RRSa10NP	4.23	163		Phase - OC1 - 51
169	RRSb13NP	4.23	169		Phase - OC1 - 51
228	RSa10NP		65.0		Tripped by RRSa10NP Phase - OC1 - 51
234	RSb13NP		65.0		Tripped by RRSb13NP Phase - OC1 - 51
244	RRSa13NP	4.217	244		Phase - OC1 - 51
252	RRSb15NP	4.217	252		Phase - OC1 - 51
309	RSa13NP		65.0		Tripped by RRSa13NP Phase - OC1 - 51
317	RSb15NP		65.0		Tripped by RRSb15NP Phase - OC1 - 51
334	RRSa15NP	4.203	334		Phase - OC1 - 51
345	RRSb17NP	4.203	345		Phase - OC1 - 51
399	RSa15NP		65.0		Tripped by RRSa15NP Phase - OC1 - 51
410	RSb17NP		65.0		Tripped by RRSb17NP Phase - OC1 - 51
433	RRSa17NP	4.203	433		Phase - OC1 - 51
465	RKNF	4.203	465		Phase - OC1 - 51
498	RSa17NP		65.0		Tripped by RRSa17NP Phase - OC1 - 51
515	RKNB	4.203	515		Phase - OC1 - 51
520	RKNI	4.203	520		Phase - OC1 - 51
530	KNF		65.0		Tripped by RKNF Phase - OC1 - 51
569	RKNG	4.135	569		Phase - OC1 - 51
580	KNB		65.0		Tripped by RKNB Phase - OC1 - 51
585	KNI		65.0		Tripped by RKNI Phase - OC1 - 51
634	KNG		65.0		Tripped by RKNG Phase - OC1 - 51

Gambar 4.5 Berikut Hasil Simulasi Waktu Trip serta Arus Gangguan yang Mengalir pada Proteksi

Sumber : Bambang Sugino, 2019



Sur.

Kurva Arus Waktu Proteksi yang Bekerja pada Gangguan 3 Fasa pada Kabel antara RSa8NP dan Rsb10NP

Berdasarkan gambar 4.5 *time grading* urutan kerja rele adalah sebagai berikut :

Tabel 4.14 Urutan Kerja Rele

NO	NAMA RELE I	WAKTU (s)	NAMA RELE II	WAKTU (s)	ARUS GANGGUAN (kA)	MARGIN/SELISIH WAKTU RELE I & RELE II /TIME GRADING (s)
1	RRSb10NP	0,096	RRSa10NP	0,163	4.235	0,797
2	RRSa10NP	0,163	RRSb13NP	0,169	4.230	0,006
3	RRSb13NP	0,169	RRSa13NP	0,244	4.230	0,075
4	RRSa13NP	0,244	RRSb15NP	0,252	4.217	0,008

Sumber : Bambang Sugino, 2019

Dari keempat rele yang bekerja di atas, terlihat bahwa *time grading* antar rele pada saat terjadi gangguan 3 fasa rata-rata adalah 0,2215s. Interval waktu yang diperlukan untuk koordinasi antar rele dengan waktu 0,5s masih dikatakan normal. Dengan kemajuan system proteksi saat ini tundaan waktu dapat diminimalisir menjadi 0,4s. Ini adalah interval minimum yang memungkinkan rele dan CB untuk menghapus gangguan di zona proteksinya, sesuai Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN) bahwa waktu pemutusan gangguan untuk gangguan hubung singkat fasa-fasa/3 fasa, harus kurang dari atau sama dengan 400 milidetik atau 0,4s.

Dengan melihat nilai rata-rata interval waktu 0,2215s, menunjukkan tundaan waktu kerja antar rele masih dibawah normal.

Mengacu pada aturan PLN untuk waktu interval antar rele 0,3 – 0,4 detik pada Simulasi *Star- Protective Device Coordination* dengan gangguan 3 fasa pada kabel antara RSa8NP dan RSb10NP serta mengacu formula *TMS*, didapati perbandingan waktu kerja rele antara perhitungan dan hasil simulasi sebagai berikut dengan I_f merupakan arus gangguan terdekat dengan beban 4,5 kA (data dari *short circuit analysis ETAP 12.6*), I set merupakan arus beban *full load* 2008 A (data dari *load flow analysis ETAP 12.6*).

Tabel 4.15 Perbandingan Waktu Kerja Rele

No	NAMA RELE	Waktu kerja rele hasil simulasi (s)	Waktu kerja rele hasil perhitungan formula (s)	Keterangan
1	RRSb10NP	0,096	0,864	
2	RRSa10NP	0,163	1,164	
3	RRSb13NP	0,169	1,464	
4	RRSa13NP	0,244	1,764	
5	RRSb15NP	0,252	2,064	

Sumber : Bambang Sugino, 2019

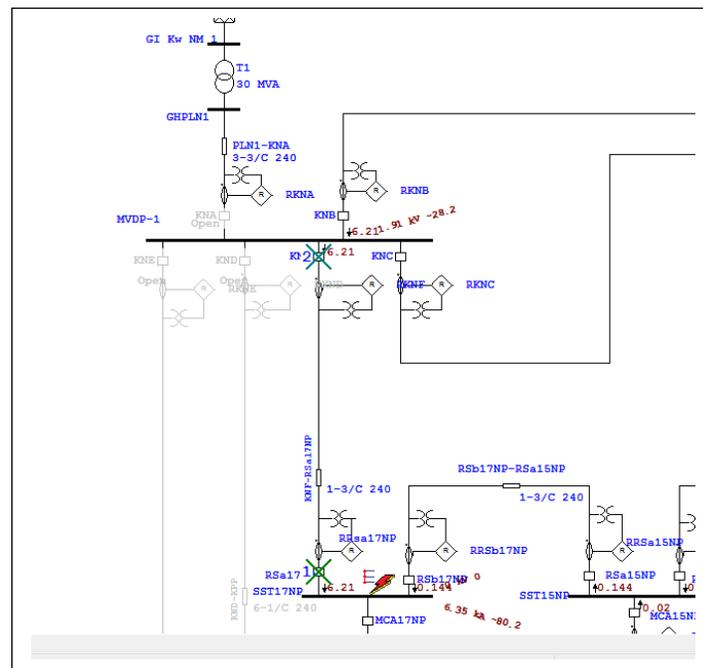
- b. Simulasi *Star- Protective Device Coordination* dengan gangguan 3 fasa pada busbar switchgear 20 KV SSTRSb17NP

Tabel 4.16 Skenario Kejadian dan Aksi Simulasi Gangguan 3 Fasa pada Bus RSb17NP

Nama Kejadian	Type Komponen	Nama Komponen	Aksi
SS	Bus	SST17NP	3 Phase Fault

Sumber : Bambang Sugino, 2019

Untuk scenario ini gangguan disimulasikan terjadi pada bus SST17NP untuk mengevaluasi *time grading* dan urutan rele yang akan bekerja.



Gambar 4.6 Menunjukkan Letak Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa untuk Simulasi Ini

Sumber : Bambang Sugino, 2019

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
366	RRsa17NP	6.214	366		Phase - OC1 - 51
389	RKNF	6.214	389		Phase - OC1 - 51
429	RKNB	6.214	429		Phase - OC1 - 51
431	RSa17NP		65.0		Tripped by RRsa17NP Phase - OC1 - 51
432	RKNI	6.214	432		Phase - OC1 - 51
454	KNF		65.0		Tripped by RKNF Phase - OC1 - 51
471	RKNG	6.113	471		Phase - OC1 - 51
494	KNB		65.0		Tripped by RKNB Phase - OC1 - 51
497	KNI		65.0		Tripped by RKNI Phase - OC1 - 51
536	KNG		65.0		Tripped by RKNG Phase - OC1 - 51

Gambar 4.7 Berikut Hasil Simulasi Waktu Trip serta Arus Gangguan yang Mengalir pada Proteksi

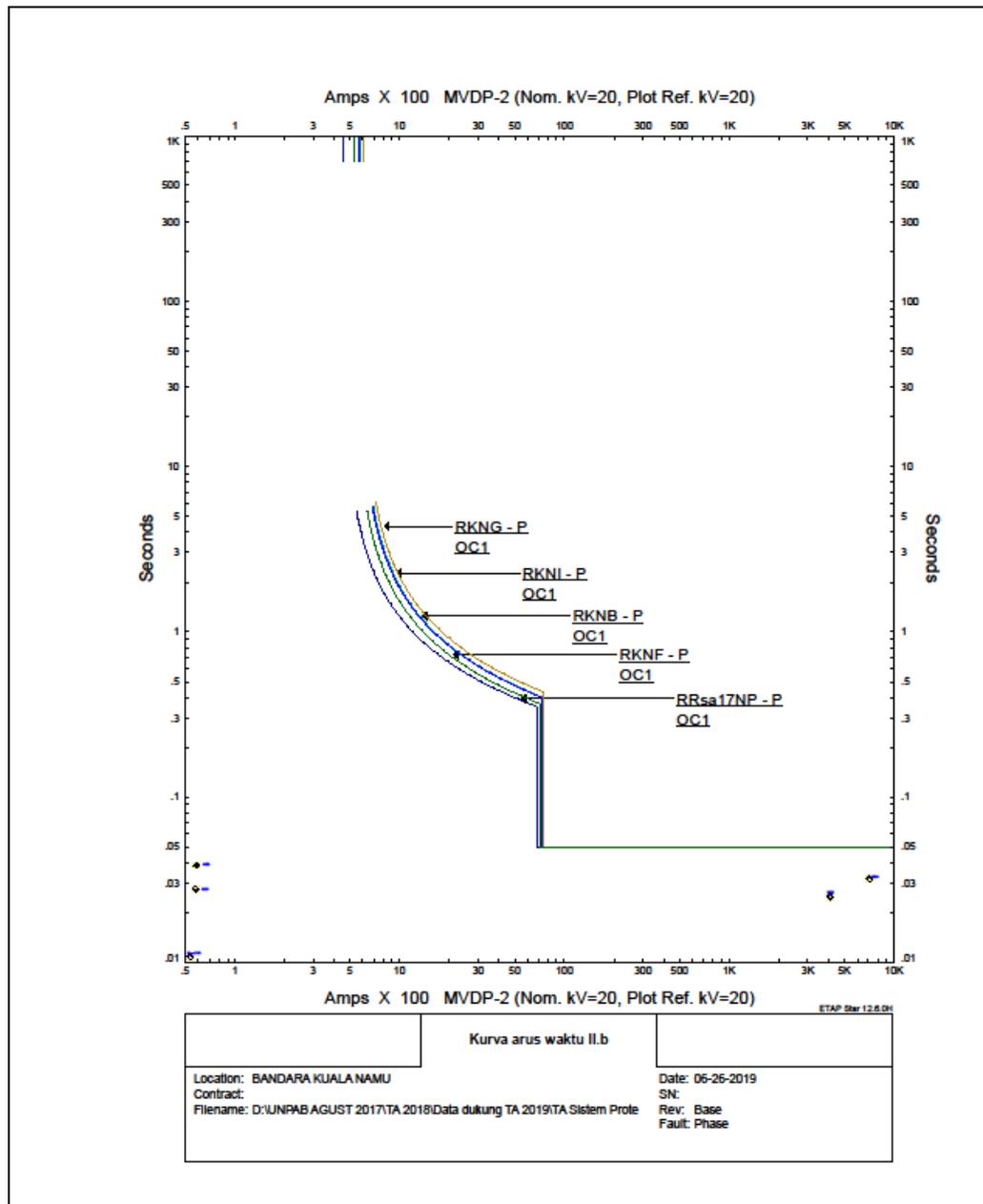
Sumber : Bambang Sugino, 2019

Berdasarkan gambar 4.7 *time grading* urutan kerja rele adalah sebagai berikut :

Tabel 4.17 Urutan Kerja Rele

NO	NAMA RELE I	WAKTU (s)	NAMA RELE II	WAKTU (s)	ARUS GANGGUAN (kA)	MARGIN/SELISIH WAKTU RELE I & RELE II /TIME GRADING (s)
1	RRSa17NP	0,366	RKNF	0,389	6.214	0,023
2	RKNF	0,389	RKNB	0,429	6.214	0,04
3	RKNB	0,429	RKNI	0,432	6.214	0,003
4	RKNI	0,432	RKNG	0,471	6.113	0,039

Sumber : Bambang Sugino, 2019



Sumber : Bambang Sugino, 2019

Kurva Arus Waktu Proteksi yang Bekerja Pada Gangguan 3 Fasa pada Busbar Switchgear 20 KV SSTRSb17NP

Dari ketiga rele yang bekerja di atas, terlihat bahwa *time grading* antar rele pada saat terjadi gangguan 3 fasa rata-rata adalah 0,02625s. Interval waktu yang diperlukan untuk koordinasi antar rele dengan waktu 0,5s masih dikatakan normal. Dengan kemajuan system proteksi saat ini tundaan waktu dapat diminimalisir menjadi 0,4s. Ini adalah interval minimum yang memungkinkan rele dan CB untuk menghapus gangguan di zona proteksinya, sesuai Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN) bahwa waktu pemutusan gangguan untuk gangguan hubung singkat fasa-fasa/3 fasa, harus kurang dari atau sama dengan 400 milidetik atau 0,4s.

Dengan melihat nilai rata-rata interval waktu 0,02625s, menunjukkan tundaan waktu kerja antar rele masih dibawah normal.

Mengacu pada aturan PLN untuk waktu interval antar rele 0,3 – 0,4 detik pada Simulasi *Star- Protective Device Coordination* dengan gangguan 3 fasa pada busbar *switchgear* 20 KV SST RSb17NP serta mengacu formula *TMS*, didapati perbandingan waktu kerja rele antara perhitungan dan hasil simulasi sebagai berikut dengan If merupakan arus gangguan terdekat dengan beban 7,2 kA (data dari *short circuit analysis ETAP 12.6*) , I set merupakan arus beban *full load* 53,2 A (data dari *load flow analysis ETAP 12.6*).

Tabel 4.18 Perbandingan Waktu Kerja Rele

No	NAMA RELE	Waktu kerja rele hasil simulasi (s)	Waktu kerja rele hasil perhitungan formula (s)	Keterangan
1	RRSa17NP	0,366	0,135	
2	RKNF	0,389	0,435	
3	RKNB	0,429	0,735	
4	RKNI	0,432	1,035	
5	RKNG	0,471	1,335	

Sumber : Bambang Sugino, 2019

Berdasarkan simulasi *Star- Protective Device Coordination* dengan gangguan 3 fasa di Bandara Internasional Kualanamu, hasil simulasi *Star- Protective Device Coordination* pada system proteksi jaringan tegangan menengah Bandara Internasional Kualanamu *time grading* cenderung sama. Pada grafik hasil rele yang bekerja / trip berdasarkan waktu dan arus gangguan sangat tipis setelah terjadi gangguan berdampak pemadaman beban yang hampir bersamaan. Sehingga berdasarkan penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa settingan rele proteksi jaringan listrik Tegangan Menengah Bandara Kualanamu belum tersetting dengan baik dari *time grading* dan setting nilai arus gangguan ditinjau dari analisis gangguan.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan *software ETAP 12.6* maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Berdasarkan hasil simulasi *Protective Device Coordination* untuk melihat koordinasi rele proteksi terlihat bahwa :
 - a. Untuk gangguan 3 fasa yang terjadi pada bus maupun pada kabel yang terletak pada jaringan non priority, memiliki interval waktu yang pendek sekali dan cenderung sama setelah adanya gangguan.
 - b. Dampak gangguan 3 fasa yang terjadi pada bus maupun pada kabel mengakibatkan pemadaman pada daerah atau bagian peralatan-peralatan yang belum terminimalisir.

5.2 Saran

1. Sebaiknya pada saat setting rele proteksi memperhatikan interval waktu antar rele 0,3s - 0,4s.
2. Sebaiknya pada saat setting rele proteksi memperhatikan daerah atau peralatan-peralatan yang menjadi prioritas untuk tidak terjadi pemadaman bila terjadi gangguan.

3. Pada data penelitian yang ada saat ini masih dapat dikembangkan dengan meneliti transient stability dan lainnya
4. Selain itu penelitian ini masih dapat dikembangkan dengan meneliti *Optimal Capacitor Placement, Harmonic Analysis, Protection Analysis, Reability Analysis, Transient Stability Analysis, Motor Starting Analysis, Optimal Power Flow, Arc Flash Analysis* dan lain- lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, A dan Kuwahara, S. 1972. Teknik Tenaga Listrik, Jilid III gardu induk. Jakarta : PT Pradnya Paramita
- Batubara, Supina. "Analisis perbandingan metode fuzzy mamdani dan fuzzy sugeno untuk penentuan kualitas cor beton instan." IT Journal Research and Development 2.1 (2017): 1-11.
- Batubara, Supina, Sri Wahyuni, and Eko Hariyanto. "Penerapan Metode Certainty Factor Pada Sistem Pakar Diagnosa Penyakit Dalam." Seminar Nasional Royal (SENAR). Vol. 1. No. 1. 2018.
- Buku Kesepakatan Bersama Pengelolaan Sistem Proteksi Trafo-Penyulang 20 kV PT PLN(Persero)Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban Jawa Bali
- Fitriani, W., Rahim, R., Oktaviana, B., & Siahaan, A. P. U. (2017). Vernam Encrypted Text in End of File Hiding Steganography Technique. Int. J. Recent Trends Eng. Res, 3(7), 214-219.
- Hardinata, R. S. (2019). Audit Tata Kelola Teknologi Informasi menggunakan Cobit 5 (Studi Kasus: Universitas Pembangunan Panca Budi Medan). Jurnal Teknik dan Informatika, 6(1), 42-45.
- Hendrawan, J., & Perwitasari, I. D. (2019). Aplikasi Pengenalan Pahlawan Nasional dan Pahlawan Revolusi Berbasis Android. JurTI (Jurnal Teknologi Informasi), 3(1), 34-40
- Khairul, K., Haryati, S., & Yusman, Y. (2018). Aplikasi Kamus Bahasa Jawa Indonesia dengan Algoritma Raita Berbasis Android. Jurnal Teknologi Informasi dan Pendidikan, 11(1), 1-6.
- Multa, L.P.,S.T.,M.Eng Aridani, Prima Restu (2013). Modul Pelatihan Etap. Yogyakarta, Universitas Gadjah Mada
- Buku Kesepakatan Bersama Pengelolaan Sistem Proteksi Trafo-Penyulang 20 kV PT PLN(Persero)Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban Jawa Bali
- Marsudi, D (2006). Operasi Sistem Tenaga Listrik. Yogyakarta, Graha Ilmu.
- Muhammad Arifai, Muhammad Hadi Satria 2017. Analisis Kestabilan Frekuensi dan Tegangan Sistem Tenaga Listrik PT Aneka Tambang (Persero) TBK UBPN Sulawesi Tenggara : Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makasar

- Muttaqin, Muhammad. "Analisa Pemanfaatan Sistem Informasi E-Office Pada Universitas Pembangunan Panca Budi Medan Dengan Menggunakan Metode Utaut." *Jurnal Teknik dan Informatika* 5.1 (2018): 40-43.
- Putri, N. A. (2018). Sistem Pakar untuk Mengidentifikasi Kepribadian Siswa Menggunakan Metode Certainty Factor dalam Mendukung Pendekatan Guru. *INTECOMS: Journal of Information Technology and Computer Science*, 1(1), 78-90.
- Perwitasari, I. D. (2018). Teknik Marker Based Tracking Augmented Reality untuk Visualisasi Anatomi Organ Tubuh Manusia Berbasis Android. *INTECOMS: Journal of Information Technology and Computer Science*, 1(1), 8-18.
- Ramadhani, S., Suherman, S., Melvasari, M., & Herdianto, H. (2018). Perancangan Teks Berjalan Online Sebagai Media Informasi Nelayan. *Jurnal Ilmiah Core IT: Community Research Information Technology*, 6(2).
- Suripto, S. (2016). *Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
- Suswanto, D (2009) *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Padang, UNiversitas Negeri Padang
- SPLN 64 : 1985, Petunjuk pemilihan dan penggunaan pelebur pada system distribusi tegangan menengah
- SPLN 52-3 : 1983, Pola Pengaman Sistem
- Soemanto Soedirman Ir. *Pembumian dan proteksi system distribusi*, Udiklat Teknologi Kelistrikan
- Suherman, S., & Khairul, K. (2018). Seleksi Pegawai Kontrak Menjadi Pegawai Tetap Dengan Metode Profile Matching. *IT Journal Research and Development*, 2(2), 68-77.
- Utomo, R. B. (2019). Aplikasi Pembelajaran Manasik Haji dan Umroh berbasis Multimedia dengan Metode User Centered Design (UCD). *J-SAKTI (Jurnal Sains Komputer dan Informatika)*, 3(1), 68-79.

Wijaya, R. F., Utomo, R. B., Niska, D. Y., & Khairul, K. (2019). Aplikasi Petani Pintar Dalam Monitoring Dan Pembelajaran Budidaya Padi Berbasis Android. *Rang Teknik Journal*, 2(1).

Wijaya, Rian Farta, et al. "Aplikasi Petani Pintar Dalam Monitoring Dan Pembelajaran Budidaya Padi Berbasis Android." *Rang Teknik Journal* 2.1 (2019).

Wahyuni, S., Lubis, A., Batubara, S., & Siregar, I. K. (2018, September). Implementasi algoritma crc 32 dalam mengidentifikasi Keaslian file. In *Seminar Nasional Royal (SENAR)* (Vol. 1, No. 1, pp. 1-6).

