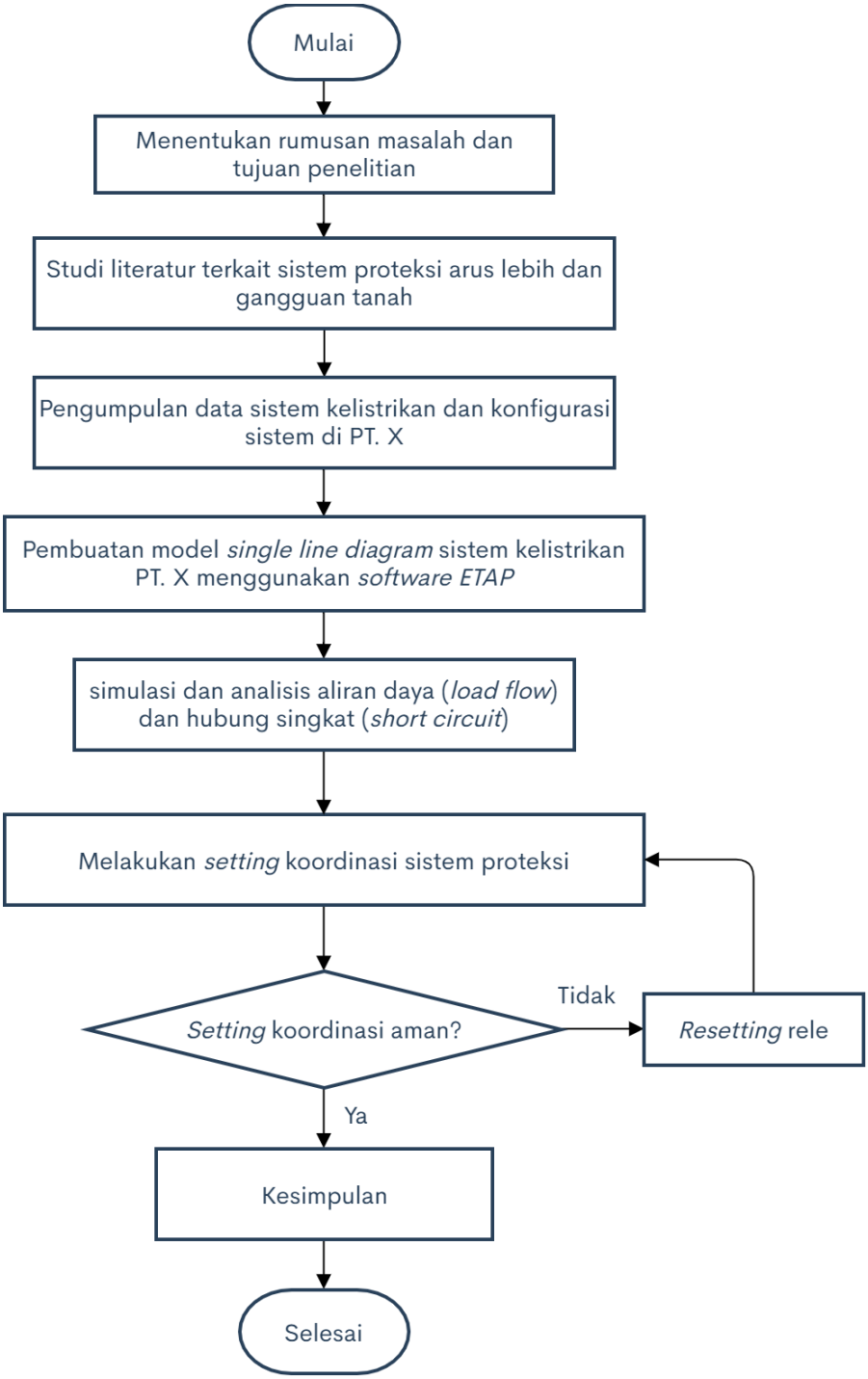
BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Prosedur Penelitian

Untuk melakukan analisis terhadap sistem proteksi arus lebih dan gangguan tanah di PT. X, langkah awal yang harus dilakukan adalah menentukan tujuan penelitian. Adapun tujuan penelitian ini yaitu untuk memberikan rekomendasi terhadap sistem proteksi arus lebih dan gangguan tanah di PT. X menggunakan ETAP. setelah tujuan penelitian telah ditentukan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan studi literatur yang berkaitan dengan sistem proteksi arus lebih dan gangguan tanah. Literatur yang digunakan bersumber dari jurnal-jurnal yang diambil dari berbagai penerbit jurnal seperti IEEE, Mendeley, Google Scholar, dan yang lainnya. Setelah literatur yang didapatkan mencukupi, maka dilakukan pengumpulan data. Data yang dikumpulkan berupa data-data terkait sistem kelistrikan PT. X seperti data spesifikasi generator, transformator, busbar, *feeder*, peralatan pengaman, serta data konfigurasi sistem. Setelah data yang diperlukan dirasa sudah lengkap, maka data-data tersebut dijadikan pemodelan sistem kelistrikan menggunakan *software* ETAP versi 19.0.1. Sehingga model tersebut bisa dilakukan beberapa analisis seperti analisis aliran daya (*loadflow*) dan analisis hubung singkat (*short circuit*). Langkah selanjutnya adalah menyimulasikan setelan rele pengaman untuk mengetahui koordinasi sistem kelistrikan sudah berjalan dengan baik atau belum. Jika hasil simulasi belum berjalan dengan baik, maka dilakukan analisis dan perhitugan kembali setelan rele hingga mendapatkan nilai yang tepat. Setelah mendapatkan hasil yang baik, maka hasil tersebut dapat digunakan sebagai rekomendasi terhadap rele yang akan digunakan pada sistem kelistrikan di PT. X.

Diagram alir prosedur penelitian analisis sistem proteksi arus lebih dan gangguan tanah di PT. X menggunakan ETAP dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Prosedur Penelitian

3.2 Objek Penelitian

Objek penelitian yang dilakukan pada sistem kelistrikan di PT. X yaitu untuk menentukan sistem proteksi yang ideal terhadap gangguan arus lebih dan gangguan tanah pada sistem kelistrikan PT. X. Terdapat banyak nilai yang bisa ditentukan dalam mengatur setelan rele yang akan digunakan

untuk mengatasi gangguan sehingga perlu dikaji dan dihitung agar mendapatkan nilai yang tepat. Perhitungan yang dilakukan meliputi analisis aliran daya dan hubung singkat. Dengan menganalisa aliran daya (*loadflow*) pada sistem, dapat diketahui aliran daya, tegangan bus, faktor daya masing-masing *feeder*, pembebanan bus, pembebanan transformator, dan rugi-rugi daya listrik. Selain analisis aliran daya dan hubung singkat, dilakukan juga perhitungan ulang terhadap rele dan *breaker* sehingga jika salah satu *feeder* mengalami gangguan, *circuit breaker* akan bekerja dengan cepat tanpa mengganggu *feeder* lainnya.

3.3 Metode Pengolahan Data

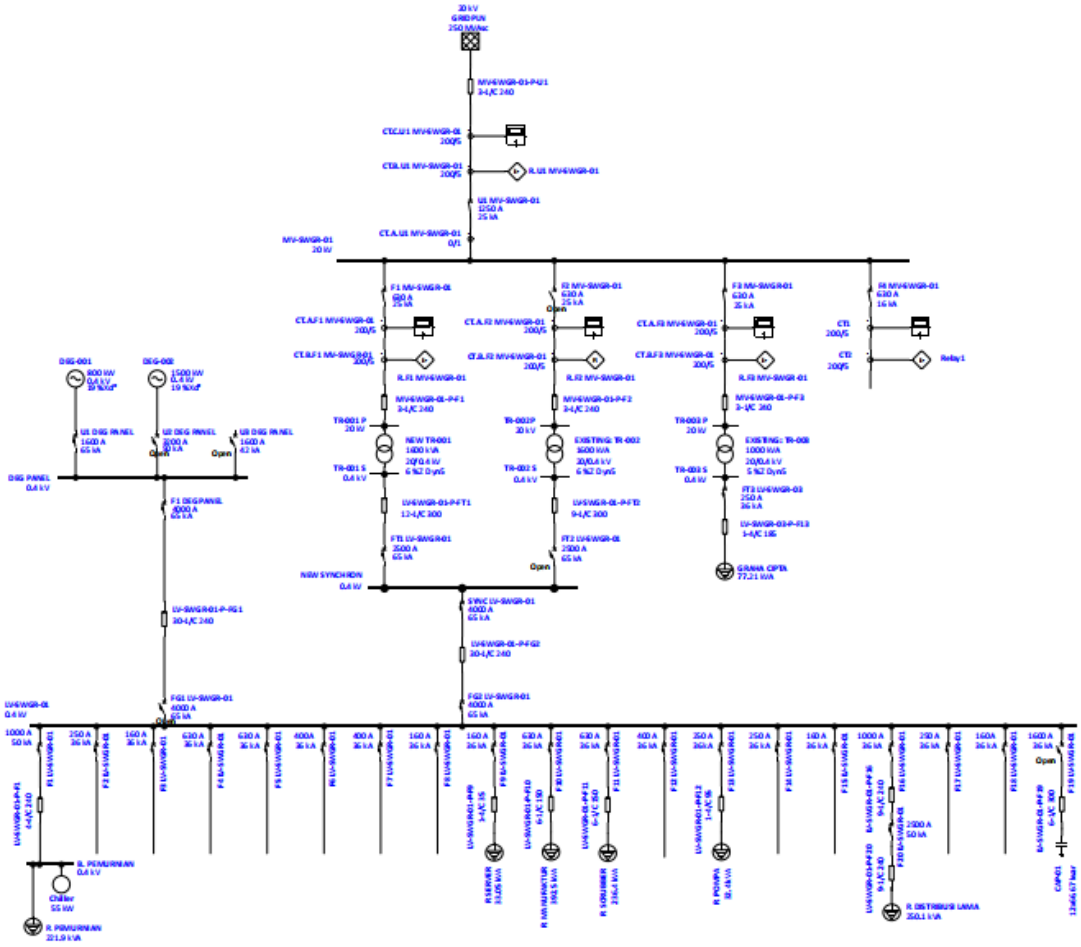
Dalam penelitian ini, pengolahan data dilakukan dengan melakukan pemodelan sistem kelistrikan PT. X. Pemodelan ini dilakukan dengan menggunakan *software* ETAP 19.0.1. Setelah pemodelan selesai, simulasi aliran daya dan hubung singkat dapat dilakukan. Simulasi hubung singkat ini terdiri dari simulasi hubung singkat beban minimum dan hubung singkat beban maksimum.

3.4 Data-data Lapangan

Data yang didapat dari PT. X merupakan data *one line diagram* sistem kelistrikan dan data-data spesifikasi generator, transformator, busbar, *feeder*, peralatan pengaman, serta data konfigurasi sistem.

3.4.1 Sistem Kelistrikan PT. X

PT. X merupakan perusahaan pengolahan produk yang menggunakan daya listrik sebagai energi utamanya. Adapun sistem kelistrikan di PT. X dibuat dalam bentuk *single line diagram* pada *software* ETAP 19.0.1 sebagai acuan dalam data penelitian ini. Berikut adalah *single line diagram* sistem kelistrikan di PT. X.



Gambar 3.2 *Single Line Diagram* Kelistrikan di PT. X

3.4.2 Sumber Kelistrikan

Sistem kelistrikan PT. X memiliki beberapa sumber untuk memenuhi kebutuhan proses pengolahan produksinya, diantaranya:

- Sumber dari penyulang tegangan menengah PLN dengan tegangan nomial 20 kV. Adapun kapasitas daya hubung sigkat PLN sebesar 250 MVAsc.
- Sumber dari *Diesel Engine Generator* (DEG) 1 x 800 kW dengan tegangan nominal 0,4 kV.
- Sumber dari *Diesel Engine Generator* (DEG) 1 x 1500 kW dengan tegangan nominal 0,4 kV.

Pola operasi normal pada sistem pembangkit adalah menggunakan kemampuan dari sumber PLN semaksimal mungkin dengan sumber DEG sebagai *backup* apabila terdapat kondisi *emergency*. Sumber PLN dioperasikan dengan cara *voltage control mode*, sedangkan DEG

dioperasikan dengan cara *swing mode*. Ketika semua beban dioperasikan secara maksimum, maka sumber PLN beroperasi dan sumber DEG akan dimatikan.

3.4.3 Sistem Distribusi

Sistem distribusi yang digunakan adalah distribusi *ring* yang dioperasikan secara *radial* dengan membuka *breaker* pada titik tertentu. Adapun tegangan menengah yang digunakan adalah 20 kV. Tegangan menengah ini akan diturunkan menjadi tegangan rendah dengan trafo *step down* menajdi 0,4 kV.

Dalam sistem distribusi sistem kelistrikan PT. X, terdapat 4 bus utama dengan 3 trafo distribusi. Adapun data bus dan trafo distribusi dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Data Bus dan Trafo Distribusi Sistem Kelistrikan PT. X

No	Bus	Tegangan	Trafo	kVA
1	MV-SWGR-01	20 kV	NEW TR-001	1600
2	MV-SWGR-01	20 kV	TR-002	1600
3	MV-SWGR-01	20 kV	TR-003	1000
4	DEG PANEL	0,4 kV	-	-
5	LV-SWGR-01	0,4 kV	-	-
6	NEW SYNCHRON	0,4 kV	-	-

3.4.4 Data Beban

Beban listrik yang ada pada sistem kelistrikan PT. X dimodelkan sebagai beban *lump* dan beban motor yang merupakan motor induksi. Adapun data-data beban listrik di PT. X dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Data Beban Sistem Kelistrikan PT. X

No	Beban	Bus	Tegangan	kVA
1	P. Pemurnian	LV-SWGR-01	0,4 kV	295,19
2	P. Server	LV-SWGR-01	0,4 kV	33,05
3	P. Manufaktur	LV-SWGR-01	0,4 kV	392,5
4	P. Scrubber	LV-SWGR-01	0,4 kV	236,4
5	P. Pompa	LV-SWGR-01	0,4 kV	32,4

6	Graha Cipta	TR-003 S	0,4 kV	77,21
7	P. Distribusi Lama	LV-SWGR-01	0,4 kV	250,1

3.4.5 Peralatan Rele Arus Lebih

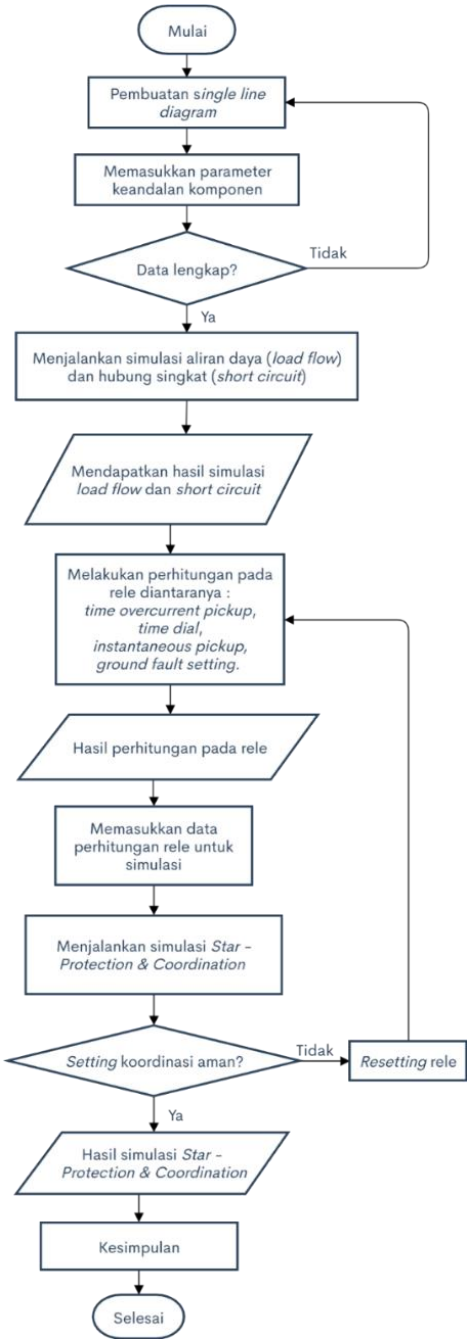
Rele arus lebih yang digunakan pada sistem kelistrikan PT. X adalah rele *digital* jenis Sepam, sebuah produk dari Merlin Gerin, salah satu perusahaan Schneider Electric. Dengan rele Sepam yang digunakan adalah Sepam 1000, Sepam T-2, serta Sepam S-42.

Sepam T-20 adalah Sepam seri 20 sebagai pengaman trafo, sedangkan Sepam S-42 adalah Sepam seri 40 sebagai pengaman *substation*. Untuk rele arus lebih pada tegangan menengah dilengkapi dengan *Sulfur Hexaflouride Circuit Breaker* (SF_6CB) yang mampu memadamkan busur api (*arc*) dalam rentang 3 *cycle* atau sekitar 60 *milisecond* untuk sistem kelistrikan berfrekuensi 50 Hz.

Gambar 3.3 Rele Sepam 1000 Merlin Gerin

3.5 Tahapan Analisis Simulasi

Dalam melakukan penelitian, simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* ETAP 19.0.1. ETAP (*Electrical Transient Analyzer Program*) dibuat untuk menangani berbagai macam permasalahan di bidang sistem tenaga listrik. Berikut ini adalah tahapan analisis simulasi yang dapat dilihat pada Gambar 3.4.

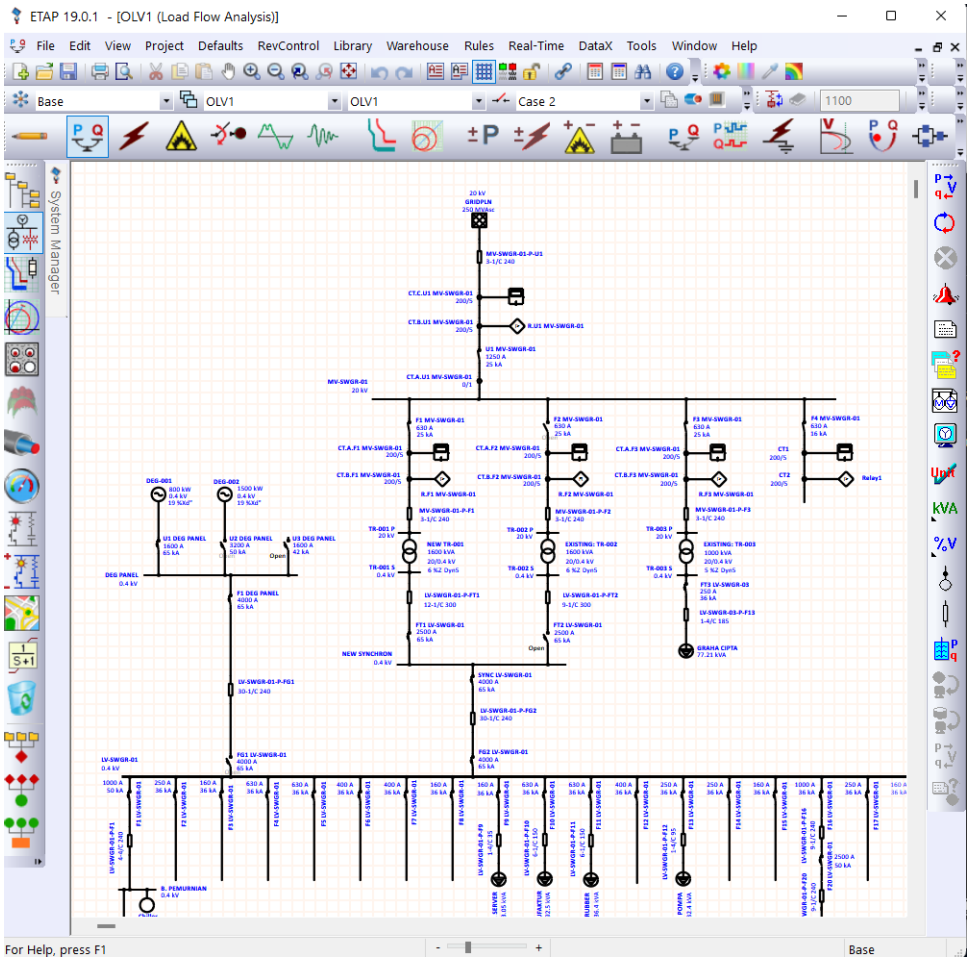


Gambar 3.4 Diagram Alir Tahapan Analisis Simulasi

Beberapa hal yang perlu diperhatikan pada saat proses pengerjaan menggunakan *software* ETAP 19.0.1 adalah sebagai berikut:

3.5.1 Pembuatan *Single Line Diagram*

Pembuatan *single line diagram* sistem kelistrikan PT. X menggunakan *software* ETAP 19.0.1.



Gambar 3.5 Pembuatan *Single Line Diagram* Sistem Kelistrikan PT. X

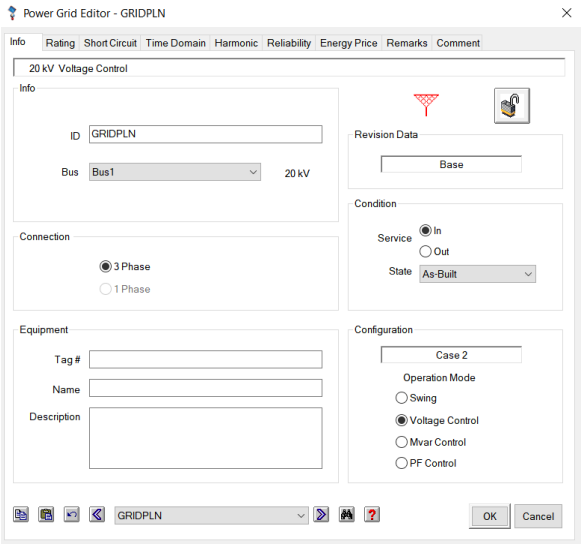
Pada Gambar 3.5, proses pembuatan *single line diagram* sistem kelistrikan PT. X pada *software* ETAP 19.0.1. pembuatan *single line diagram* ini disusun sesuai dengan data dan keadaan lapangan pada sistem kelistrikan di PT. X.

3.5.2 Memasukkan Parameter Komponen

Parameter yang ada pada *software* ETAP 19.0.1 disesuaikan dengan keadaan di lapangan, sehingga menghasilkan simulasi yang objektif. Parameter yang akan mempengaruhi hasil simulasi adalah sebagai berikut:

a. *Power Grid*

Power Grid sebagai sumber dari PLN yang menyuplai tenaga listrik kepada sistem kelistrikan di PT. X.

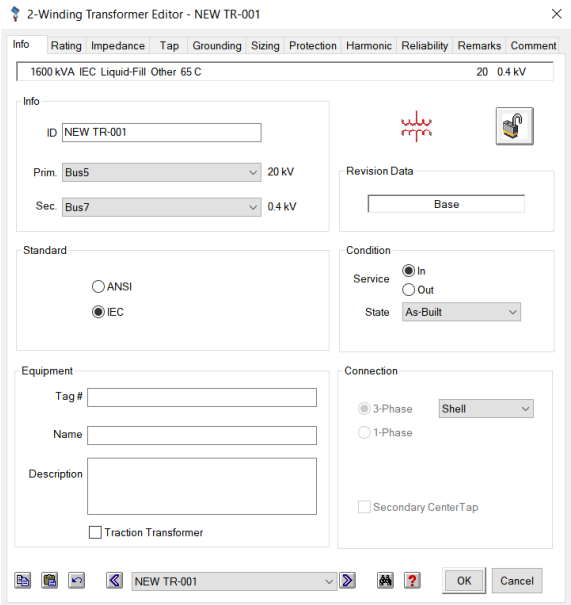


Gambar 3.6 Tampilan Menu *Power Grid Editor* di ETAP

Gambar 3.6 merupakan *Power Grid Editor* yang berfungsi mengatur spesifikasi *Power Grid* agar sesuai dengan nilai yang ada di lapangan. Spesifikasi yang diperlukan pada *Power Grid Editor* terdiri dari *Information*, *Rated kV*, *SC Rating*, dan *Reliability Parameters*.

b. *2-Winding Transformer*

Transformator yang digunakan pada simulasi ini menggunakan *2-winding transformer*. Pada sisi primer tegangan yang masuk sebesar 20 kV sedangkan pada sisi sekunder tegangan yang keluar sudah di*step down* sebesar 0,4 kV.

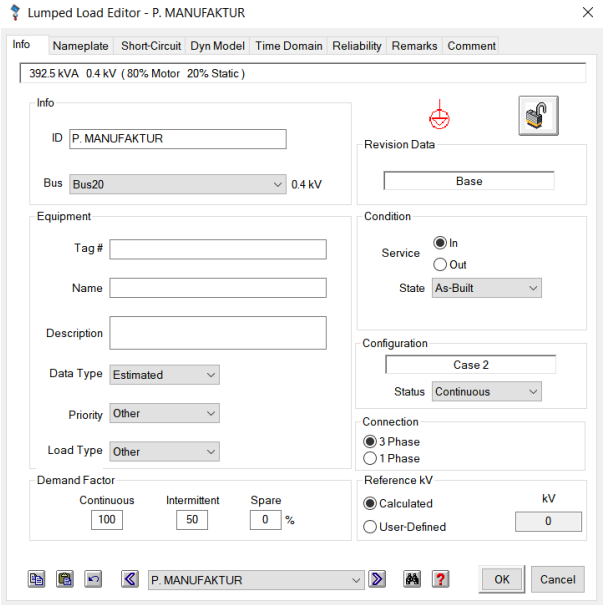


Gambar 3.7 Tampilan Menu *2-Winding Transformer Editor* di ETAP

Parameter-parameter pada spesifikasi *2-winding transformer* terdiri dari *Information*, *Voltage Rating*, *Power Rating*, *Impedance*, *Grounding*, *Sizing*, *Protection*, dan *Reliability Parameters*.

c. *Lumped Load*

Lumped Load sebagai jenis beban pada simulasi sistem kelistrikan di PT. X memiliki dua jenis beban, diantaranya sebagai motor dan penerangan.

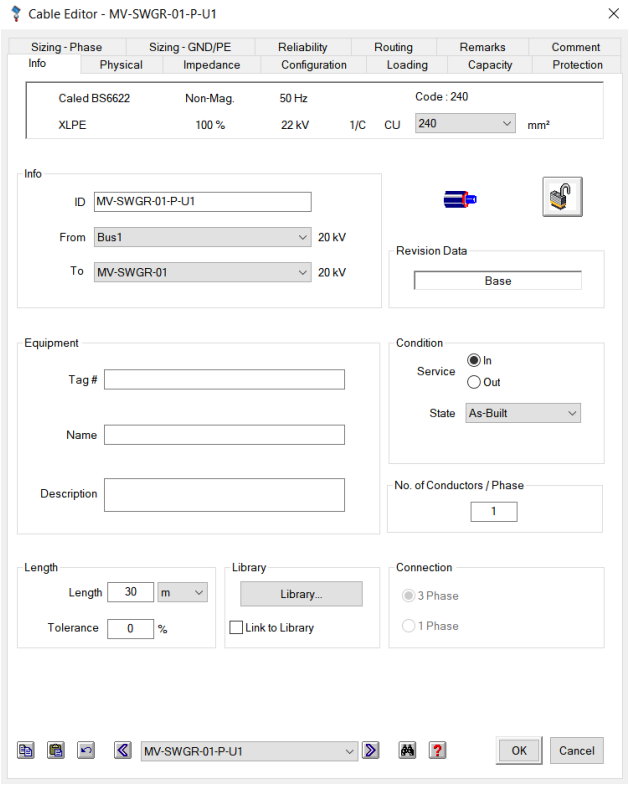


Gambar 3.8 Tampilan Menu *Lumped Load Editor* di ETAP

Pada Gambar 3.8, parameter yang digunakan untuk menyesuaikan *Lumped Load* dengan spesifikasi yang ada di lapangan antara lain – *Information*, *Nameplate*, *Short-Circuit Contribution*, dan *Reliability Parameters*.

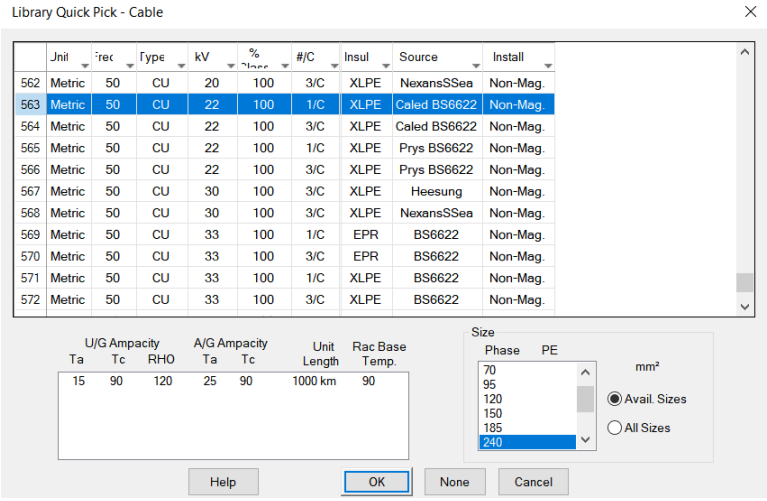
d. *Cables*

Kabel atau penghantar sebagai penghubung dari sumber menuju beban diatur dengan menyesuaikan parameter yang ada di lapangan. Dalam ETAP 19.0.1, *Cable Editor* digunakan untuk memasukkan nilai komponen penghantar pada *single line diagram*.



Gambar 3.9 Tampilan Menu *Cable Editor* di ETAP

Terdapat beberapa parameter yang dibutuhkan untuk membuat penghantar pada *single line diagram* seperti menentukan panjang penghantar yang dapat diatur pada kolom *length* serta menentukan jenis penghantar yang dapat ditentukan pada kolom *library* seperti pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Tampilan Menu *Library Quick Pick – Cable*

Pada Gambar 3.10 diatas, menu *Library Quick Pick – Cable* dapat mengatur nilai frekuensi, ukuran luas penampang penghantar, bahan pengantar, dan bahan isolasi pada penghantar dalam pembuatan *single line diagram* sistem kelistrikan PT. X.

3.5.3 Melakukan Simulasi Arus Hubung Singkat

Pada simulasi arus hubung singkat dilakukan dengan cara memilih bus yang ingin diuji agar hasil dari simulasi hubung singkat dapat digunakan untuk menentukan setelan rele arus lebih. Terdapat dua parameter arus hubung singkat yang digunakan dalam *setting* proteksi, yaitu arus hubung singkat maksimum dan arus hubung singkat minimum.

a. Arus Hubung Singkat Maksimum

Arus hubung singkat maksimum terjadi pada saat sistem di PT. X beroperasi pada kondisi suplai beban maksimum. Pada kondisi ini GRIDPLN beroperasi penuh terhadap beban yang ada dengan kapasitas daya hubung singkat sebesar 250 MVAsc. Arus hubung singkat maksimum yang digunakan untuk mengatur rele memiliki waktu tunda antara 0,08 hingga 0,5 detik. Hubung singkat maksimum digunakan sebagai batas arus hubung singkat terbesar yang mungkin terjadi. Saat mensimulasikan gangguan hubung singkat maksimum ini dilakukan pada bus-bus yang sudah ditetapkan sebelumnya. Hasil simulasi hubung singkat maksimum dapat dilihat pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Data Arus Hubung Singkat Suplai Beban Maksimum

Bus ID	Voltage	3-Phase Fault	Line-to-Ground Fault	Line-to-Line Fault	Line-to-Line-to Ground	Min Phase SC	Max Phase SC
ID	kV	kA	kA	kA	kA	kA	kA
B. PEMURNIAN	0.4	36.398	30.246	31.910	36.191	30.246	36.398
DEG PANEL	0.4	38.664	32.634	33.419	37.868	32.634	38.664
LV-SWGR-01	0.4	40.921	35.261	35.364	40.101	35.261	40.921
MV-SWGR-01	20	7.347	-	6.361	6.361	6.361	7.347
NEW SYNCHRON	0.4	42.227	37.638	36.499	41.373	37.638	42.227
TR-003 S	0.4	28.730	29.528	24.881	29.266	29.528	29.266

b. Arus Hubung Singkat Minimum

Arus hubung singkat minimum terjadi pada saat sistem di PT. X beroperasi pada kondisi suplai beban minimum. Pada kondisi ini sistem disuplai oleh DEG-002 dengan total daya sebesar 1500 kW sebagai pengganti apabila penyuplai utama sedang mengalami gangguan. Arus hubung singkat minimum digunakan untuk menentukan *high setting* rele arus lebih instan. Dengan demikian, saat terjadi gangguan hubung singkat pada arus gangguan minimum, rele dapat beroperasi sesuai dengan arus *pickup* dan *time delay* yang sudah ditentukan. Saat mensimulasikan gangguan hubung singkat minimum ini dilakukan pada bus-bus dalam tipikal yang sudah ditetapkan sebelumnya. Hasil simulasi hubung singkat minimum dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Data Arus Hubung Singkat Suplai Beban Minimum

Bus ID	Voltage	3-Phase Fault	Line-to-Ground Fault	Line-to-Line Fault	Line-to-Line-to Ground	Min Phase SC	Max Phase SC
ID	kV	kA	kA	kA	kA	kA	kA
B. PEMURNIAN	0.4	23.035	27.471	20.183	28.108	20.183	28.108
DEG PANEL	0.4	24.377	31.309	21.433	30.186	21.433	31.309
LV-SWGR-01	0.4	24.246	31.005	21.294	30.229	21.294	31.005
MV-SWGR-01	20	0.301	-	0.263	0.263	0.263	0.301
NEW SYNCHRON	0.4	23.478	30.088	20.604	29.393	20.604	30.088
TR-003 S	0.4	9.846	12.821	8.573	12.503	8.573	12.821

3.5.4 Penyesuaian Parameter Rele Proteksi

Sebelum menjalankan simulasi proteksi sistem kelistrikan PT. X, perlu diperhatikan untuk mengatur nilai rele pada sistem. Koordinasi waktu satu langkah berdasarkan IEEE 242 untuk perbedaan waktu minimum adalah antara 0,3 sampai 0,4 detik, sedangkan untuk rele *digital* berbasis mikroprosesor adalah antara 0,2 sampa 0,3 detik. Perbedaan waktu ini bertujuan untuk memastikan bahwa gangguan dari sisi hilir bisa padam tanpa mengganggu rele dari sisi hulu sehingga kemungkinan *trip* serentak dapat dihindari.

Terdapat beberapa ketentuan dalam menyesuaikan parameter sistem proteksi, diantaranya:

a. *Setting* proteksi motor

- *Low set* diatur 105 – 110 % dari arus nominal
- *High set* diatur diatas 7 kali arus nominal dan dibawah 0,8 kali arus hubung singkat minimum
- *Setting* waktu (apabila fasilitas tersedia) pada waktu terendah

b. *Setting* proteksi transformator dan generator

- *Low set* diatur 100 – 110 % dari arus nominal
- *High set* diatur diatas *inrush* motor terbesar ditambah dengan arus *Switchgear* pada saat operasi normal atau diatas *inrush* transformator.
- Untuk proteksi transformator dan peralatan khusus yang rawan hubung singkat disarankan untuk mengatur *instantaneous setting* agar mencegah arus hubung singkat naik ke sisi hulu
- *Setting* waktu (apabila fasilitas tersedia) adalah pada *feeder* terdekat dengan beban dimulai 0,1 detik. Apabila terdapat dua *feeder* maka *feeder* di sisi hulu adalah 0,2 detik ditambah *seeting feeder* dibawahnya. Dengan maksimal *setting* waktu adalah 1 detik

3.5.5 Perhitungan Setelan Koordinasi Rele Proteksi

Pada setelan rele arus lebih dan gangguan tanah yang ada pada sistem kelistrikan di PT. X, perlu adanya perhitungan untuk menentukan nilai yang tepat pada rele. Adapun perhitungan yang dilakukan pada setelan koordinasi rele proteksi adalah sebagai berikut:

a. Menentukan tipe kurva karakteristik rele

Untuk menentukan perhitungan pada rele, perlu diketahui tipe kurva yang akan digunakan. Terdapat beberapa standar untuk jenis rele perlindungan waktu yang dapat dibedakan oleh gradien kurvanya, diantaranya rele arus lebih *definite time*, *standard inverse time*, *very inverse time*, *extremely inverse time*, *inverse definite minimum time*, dan rele arus lebih waktu instan.

b. Menentukan nilai *tap* pada rele

Pada rele arus lebih, nilai arus *pick up* ditentukan oleh *tap*, untuk menentukan nilai *tap* digunakan persamaan berikut:

$$\text{tap} = \frac{\text{Iset}}{\text{CT primary}} \quad (3.1)$$

Dimana *Iset* adalah nilai arus *pickup* pada rele.

c. Menghitung nilai *Time Overcurrent Pickup*

Untuk menghitung *time overcurrent pickup* pada rele, gunakan persamaan berikut:

Low set < 110% x FLA *feeder* (3.2)

Dimana FLA *feeder* merupakan total nilai arus pada beban yang ingin diproteksi.

d. Menghitung nilai *Time Dial*

Pada perhitungan ini, waktu operasi (td) ditentukan sesuai dengan waktu yang diinginkan, kemudian dihitung sesuai kurva karakteristik rele yang akan digunakan.

$$\text{td} = \frac{K\ x\ \text{T}}{2{,}97\ x\left[\left(I/_{Is}\right)^{0.02} - 1\right]} \quad (3.3)$$

Dimana td adalah waktu operasi rele, T adalah *Time Dial Setting*, I adalah nilai arus pada saat waktu operasi, dan Is adalah arus *pick up* sebagai perlindungan beban lebih. Persamaan ini juga disusun dengan beberapa koefisien yang ada pada Tabel 2.2.

e. Menghitung nilai *instantaneous pickup*

Untuk menghitung *instantaneous pickup* pada rele, gunakan persamaan berikut:

High set > nilai maksimum *feeder* (3.4)

Dimana nilai maksimum *feeder* ditentukan pada nilai terbesar dari *inrush* trafo atau *Isc max* bus yang melewati rele.