

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

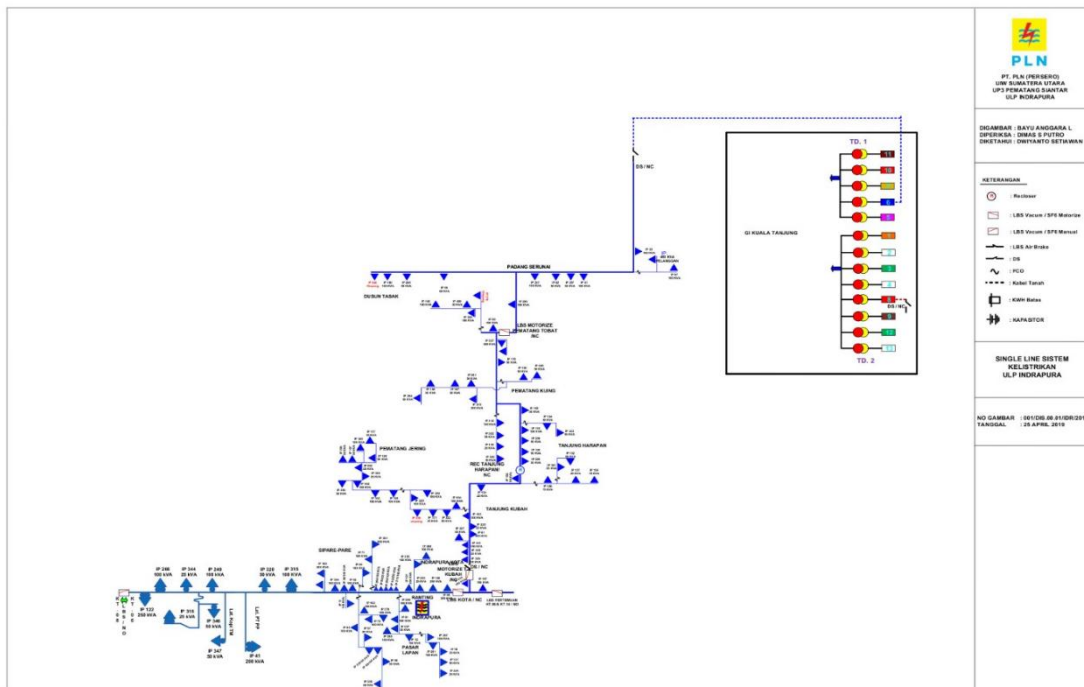
2.1.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan suatu kesatuan yang terdiri atas beberapa subsistem utama, yaitu pembangkitan, transmisi, dan distribusi. Energi listrik yang dihasilkan pada sisi pembangkitan disalurkan kepada masyarakat melalui jaringan distribusi, yang merupakan bagian sistem kelistrikan paling dekat dengan konsumen. Secara umum, jaringan distribusi dibedakan menjadi dua jenis, yaitu jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder. (Yakin, 2019). Pada umumnya, tegangan yang digunakan untuk sistem distribusi primer oleh PT PLN (Persero) adalah 20 kV, 12 kV, dan 6 kV. Saat ini, tegangan distribusi primer yang banyak dikembangkan adalah sistem 20 kV. Tegangan tersebut kemudian diturunkan melalui gardu distribusi menjadi tegangan rendah sebesar 380/220 V, yang selanjutnya disalurkan kepada pelanggan melalui jaringan tegangan rendah (BR, 2019).

Dalam pengoperasian sistem tenaga listrik, sering kali terjadi berbagai gangguan yang dapat menghambat penyaluran energi listrik kepada konsumen. Gangguan pada sistem tenaga listrik dapat diartikan sebagai kondisi yang menyebabkan penyimpangan terhadap keadaan operasi normal. Secara teknis, gangguan merupakan kondisi abnormal pada peralatan listrik yang mengakibatkan aliran arus listrik menyimpang dari jalur yang seharusnya. Berdasarkan standar ANSI/IEEE Std. 100-1992, gangguan didefinisikan sebagai suatu kondisi fisik yang disebabkan oleh kegagalan perangkat, komponen, atau elemen sistem untuk berfungsi sesuai dengan peranannya (Yakin, 2019).

2.1.2 Jaringan Distribusi Tegangan Menengah

Jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV berfungsi sebagai penghubung antara sistem transmisi dan jaringan tegangan rendah. Konfigurasi jaringan distribusi yang umum digunakan adalah konfigurasi radial, karena lebih sederhana dan mudah dalam pengoperasian serta proteksi. (Widyastuti, 2016). Pada jaringan radial, satu penyulang utama menyuplai beberapa lateral. Gangguan yang terjadi pada salah satu lateral dapat mempengaruhi kontinuitas suplai apabila tidak diamankan dengan baik. Oleh karena itu, sistem proteksi pada jaringan distribusi 20 kV harus mampu mengisolasi gangguan secara selektif agar tidak meluas ke bagian jaringan lainnya. (Budi Santoso, 2018). Penyulang KT.06 (Batu Ampar) merupakan salah satu penyulang distribusi 20 kV yang melayani beban pelanggan melalui beberapa lateral. Kondisi beban dan panjang jaringan pada penyulang ini menjadi faktor penting dalam analisis sistem proteksi yang dilakukan.



2.1.3 Keandalan Sistem Distribusi dan Sistem Proteksi

Keandalan sistem distribusi adalah kemampuan sistem dalam menyalurkan energi listrik secara kontinu dengan tingkat gangguan seminimal mungkin. Keandalan ini sangat dipengaruhi oleh efektivitas sistem proteksi yang digunakan. Sistem proteksi berfungsi untuk mendeteksi gangguan dan memutus bagian jaringan yang terganggu secara cepat, tepat, dan selektif. Sistem proteksi yang tidak bekerja sesuai dengan kondisi teknis jaringan dapat menyebabkan gangguan kecil berkembang menjadi gangguan yang lebih luas. (Novi Gusti Pahiyanti, 2015).

Evaluasi keandalan sistem proteksi pada jaringan distribusi tidak hanya dilakukan secara operasional, tetapi juga harus didukung oleh analisis berbasis perhitungan teknis. (Widyastuti, 2016).

2.1.4 Gangguan Pada Jaringan Distribusi 20kV

Gangguan pada jaringan distribusi merupakan kondisi tidak normal yang menyebabkan perubahan arus dan tegangan di luar batas operasi normal. Gangguan ini menjadi dasar dalam perhitungan dan evaluasi sistem proteksi.

a. Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat terjadi ketika dua atau lebih penghantar dengan beda potensial terhubung secara langsung atau melalui impedansi yang sangat kecil. Gangguan ini menyebabkan arus yang sangat besar mengalir dalam waktu singkat. Jenis gangguan hubung singkat yang umum terjadi pada jaringan distribusi 20 kV meliputi:

- Hubung singkat satu fasa ke tanah
- Hubung singkat dua fasa
- Hubung singkat tiga fasa

b. Gangguan Arus Lebih

Gangguan arus lebih terjadi akibat pembebanan yang melebihi kapasitas penghantar atau peralatan listrik. Arus lebih yang berlangsung dalam waktu lama dapat menyebabkan pemanasan berlebih dan mempercepat kerusakan isolasi peralatan. Oleh karena itu, sistem proteksi harus mampu membedakan antara arus beban normal dan arus gangguan, sehingga tidak terjadi pemutusan yang tidak diperlukan.

2.1.5 Fuse Cut Out

a. Fuse Cut Out

Fuse Cut Out (FCO) adalah salah satu peralatan proteksi pada jaringan distribusi Tegangan Menengah yang berfungsi sebagai pemutus arus gangguan secara otomatis. FCO bekerja dengan prinsip peleburan kawat lebur (Fuse link) apabila terjadi arus lebih atau hubung singkat melebihi batas kemampuan hantar. Setelah Fuse link putus, FCO akan membuka dan memutuskan rangkaian, sehingga daerah jaringan yang terganggu dapat terisolasi dari sistem (Sidabutar, 2023).

Selain sebagai pengaman, FCO juga dapat digunakan sebagai pemutus manual (switching) untuk melakukan pemeliharaan jaringan. Hal ini menjadikan FCO perangkat proteksi sederhana namun efektif, serta banyak digunakan pada jaringan distribusi Tegangan Menengah di Indonesia (Sidabutar, 2023).



Gambar 2. 2 Fuse Cut Out

b. Prinsip Kerja FCO

Prinsip kerja Fuse Cut Out didasarkan pada pemanasan akibat arus listrik yang mengalir melalui fuse link. Ketika arus melebihi nilai nominal fuse link, fuse link akan meleleh dan memutus rangkaian listrik. Waktu pemutusan FCO dipengaruhi oleh besar arus yang mengalir dan karakteristik fuse link yang digunakan.

c. Fuse Link pada Fuse Cut Out (FCO)

Fuse Cut Out (FCO) menggunakan fuselink sebagai elemen utama yang berfungsi untuk melebur ketika terjadi arus gangguan. Fuselink terbuat dari kawat logam dengan karakteristik tertentu, sehingga dapat melebur pada nilai arus dan waktu yang sesuai dengan perancangan proteksi jaringan (Yusmartato R. N., 2019).

Fuselink Tipe-K



Fuselink Tipe- T



Gambar 2. 3 Fuse Link

1) Tipe K (K-Link)

Fuselink tipe K merupakan fuse dengan karakteristik cepat (fast-acting fuse) yang dirancang untuk melindungi konduktor atau jaringan penyulang dari arus lebih dan hubung singkat. Fuselink ini memiliki kurva arus-waktu yang lebih cepat dibandingkan tipe T, sehingga cocok untuk aplikasi pada jaringan distribusi di mana pemutusan gangguan harus dilakukan secepat mungkin (ARITONANG, 2021).

Pada praktiknya, PLN menggunakan fuselink tipe K sebagai proteksi penyulang (line protection) dan cabang jaringan distribusi tegangan menengah. Hal ini karena konduktor jaringan memiliki batas kemampuan termal yang relatif rendah dibanding transformator, sehingga membutuhkan perangkat proteksi yang dapat merespons secara cepat (ARITONANG, 2021).

Kelebihan tipe K:

- Bekerja atau melebur lebih cepat ketika terjadi arus hubung singkat.
- Cocok digunakan pada FCO yang dipasang pada percabangan jaringan Tegangan Menengah karena lebih efektif bekerja untuk meminimalisir padam meluas saat terjadi gangguan.
- Mengurangi resiko kerusakan fatal pada konduktor akibat gangguan permanen.

Kekurangan tipe K:

- Kurang cocok jika digunakan pada FCO untuk proteksi transformator, karena kurang toleran terhadap arus inrush pada saat trafo pertama kali diberi tegangan.

2) Tipe T (T-Link)

Fuselink tipe T merupakan fuse dengan karakteristik time-delay (slow-blow fuse) yang dirancang untuk melindungi transformator distribusi di sisi primernya . Karakteristik utama tipe T adalah kemampuannya menahan arus inrush transformator yang muncul saat proses energisasi, tanpa langsung melebur (ARITONANG, 2021).

Fuselink tipe T bekerja dengan prinsip menunda pelelehan kawat fusnya pada arus lebih sesaat, tetapi tetap melebur jika arus berlebih berlangsung cukup lama atau melebihi batas kemampuan termal. Hal ini menjadikan tipe T sangat sesuai digunakan untuk melindungi transformator distribusi yang memiliki arus inrush cukup besar (ARITONANG, 2021).

Kelebihan tipe T:

- Memiliki toleransi lebih tinggi terhadap arus inrush transformator, sehingga dapat menghindari pemutusan proteksi yang tidak perlu (nuisance tripping) saat trafo pertama kali diberikan tegangan.
- Memberikan proteksi selektif pada transformator, tanpa mengorbankan keandalan sistem jaringan distribusi.
- Cocok di aplikasikan pada FCO yang di peruntukkan pada Transformator.

Kekurangan:

- Respon lebih lambat jika dibandingkan dengan tipe K, sehingga tidak cocok jika diaplikasikan pada FCO yang dipasang pada percabangan penyulang jaringan distribusi.

2.1.6 Arus Beban Pada Jaringan Distribusi

Arus beban pada jaringan distribusi tiga fasa dapat ditentukan berdasarkan daya semu (S) dan tegangan sistem. Perhitungan arus beban menggunakan daya semu karena sistem proteksi bekerja berdasarkan besar arus yang mengalir pada jaringan tanpa dipengaruhi oleh faktor daya. Secara matematis, arus beban pada sistem tiga fasa dinyatakan dengan persamaan:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \times V}$$

dengan:

I = arus beban (A)

S = daya aktif (VA)

V = tegangan sistem (V)

Perhitungan arus beban digunakan untuk memastikan bahwa Fuse Cut Out tidak bekerja pada kondisi operasi normal.

2.1.7 Impedansi Jaringan Distribusi

Impedansi jaringan merupakan gabungan dari resistansi (R) dan reaktansi (X) penghantar serta peralatan listrik. Impedansi total jaringan dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

Nilai impedansi jaringan dipengaruhi oleh jenis konduktor, panjang jaringan, dan konfigurasi jaringan. Impedansi ini menjadi parameter penting dalam perhitungan arus hubung singkat.

2.1.8 Perhitungan Arus Hubung Singkat

Arus hubung singkat merupakan arus yang mengalir akibat terjadinya gangguan hubung singkat pada sistem tenaga listrik. Secara umum, arus hubung singkat dapat dihitung dengan persamaan:

$$I_{hs} = \frac{V}{Z_{total}}$$

Nilai arus hubung singkat yang diperoleh dari perhitungan ini digunakan sebagai dasar dalam mengevaluasi kemampuan kerja Fuse Cut Out pada penyulang 20 kV.

2.1.9 Rating Fuselink Pada Fuse Cut Out

Rating fuse link merupakan kemampuan arus nominal fuse link yang dapat dialirkan secara kontinu tanpa menyebabkan fuse link bekerja. Penentuan rating fuse link harus mempertimbangkan arus beban maksimum dan arus gangguan yang mungkin terjadi.

Secara umum, rating fuse link ditentukan dengan persamaan:

$$I_{fuse} \geq k \times I_b$$

dengan:

I_{fuse} = arus nominal fuse link (A)

I_b = arus beban (A)

K = faktor pengaman (biasanya 1,25 – 1,3)

Perhitungan ini digunakan untuk memastikan fuse link tidak bekerja pada kondisi beban normal namun tetap sensitif terhadap gangguan.

2.1.10 Karakteristik waktu – arus fuselink

Karakteristik waktu–arus fuse link merupakan hubungan antara besar arus yang mengalir melalui fuse link dengan waktu yang diperlukan hingga fuse link bekerja memutus rangkaian. Hubungan ini dinyatakan dalam bentuk kurva waktu–arus (Time Current

Characteristic / TCC) yang menggunakan skala logaritmik pada sumbu arus dan waktu.

Secara teoritis, karakteristik waktu–arus fuse link mengikuti hubungan berbanding terbalik antara arus dan waktu, yang secara umum dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan empiris:

$$t = k \times I^{-n}$$

Dimana:

t = waktu kerja fuse link (detik)

I = besar arus yang mengalir melalui fuse link (ampere),

k dan n = merupakan konstanta yang bergantung pada jenis dan karakteristik material fuse link.

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa semakin besar arus yang mengalir, maka waktu kerja fuse link akan semakin kecil. Hubungan ini menjadi dasar terbentuknya kurva waktu–arus fuse link yang menurun dari kiri ke kanan. Karakteristik ini sangat penting dalam sistem proteksi karena menentukan seberapa cepat Fuse Cut Out merespons gangguan arus lebih maupun hubung singkat.

2.1.11 Analisis Numerik Kurva Karakteristik Fuse Link

Analisis numerik kurva karakteristik fuse link dilakukan untuk menentukan waktu kerja Fuse Cut Out berdasarkan nilai arus gangguan hasil perhitungan teknis. Nilai arus gangguan diperoleh dari hasil perhitungan arus hubung singkat yang bergantung pada impedansi total jaringan.

Secara umum, arus hubung singkat dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$I_{hs} = \frac{V}{Z_{total}}$$

Dimana:

I_{hs} = arus hubung singkat (A)

V = tegangan sistem pada titik gangguan (V)

Z_{total} = impedansi total jaringan (ohm), yang meliputi impedansi sumber dan saluran.

Nilai arus hubung singkat yang diperoleh dari persamaan tersebut kemudian digunakan sebagai input pada persamaan karakteristik waktu–arus fuse link. Dengan mensubstitusikan nilai I_{hs} ke dalam persamaan karakteristik fuse link, waktu kerja Fuse Cut Out dapat ditentukan secara numerik sebagai berikut:

$$t_{FCO} = k \times I_{hs}^{-n}$$

Dimana :

t_{FCO} = waktu kerja Fuse Cut Out (detik)

k dan n = konstanta karakteristik fuse link.

Analisis numerik ini memungkinkan evaluasi kinerja Fuse Cut Out secara teoritis tanpa harus melakukan pengujian langsung di lapangan. Hasil analisis numerik digunakan sebagai dasar dalam pembahasan penggunaan Fuse Cut Out sebagai sistem proteksi penyulang 20 kV berbasis perhitungan teknis.

2.1.12 Koordinasi Fuse Cut Out dengan Sistem Proteksi Lain

Koordinasi Fuse Cut Out dengan sistem proteksi lain bertujuan untuk memastikan bahwa setiap gangguan diamankan secara selektif dan berurutan. Pada jaringan distribusi 20 kV, koordinasi proteksi umumnya melibatkan Fuse Cut Out, recloser, dan circuit breaker.

Secara konseptual, koordinasi waktu kerja antar perangkat proteksi dapat dinyatakan dalam bentuk hubungan matematis sebagai berikut:

$$t_{FCO} < t_{recloser} < t_{CB}$$

Dimana:

t_{FCO} = waktu kerja Fuse Cut Out

$t_{recloser}$ = waktu kerja recloser

$< t_{CB}$ = kerja circuit breaker

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa Fuse Cut Out harus bekerja lebih cepat dibandingkan recloser dan circuit breaker pada rentang arus gangguan yang sama. Dengan urutan kerja ini, gangguan yang terjadi pada lateral dapat diisolasi secara lokal tanpa menyebabkan pemutusan pada penyulang utama atau sistem yang lebih luas.

Koordinasi proteksi yang baik akan meningkatkan selektivitas dan keandalan sistem distribusi. Sebaliknya, ketidaksesuaian koordinasi waktu kerja dapat menyebabkan Fuse Cut Out gagal mengamankan gangguan atau justru memicu kerja proteksi di tingkat yang lebih tinggi.

2.2 Penelitian Terkait

Pada penelitian ini penulis melakukan tinjauan literatur pada beberapa penelitian yang relevan untuk dijadikan referensi. Referensi dapat berasal dari jurna, artikel, skripsi, atau buku yang relevan. Beberapa referensi yang penulis dapatkan sebagai berikut:

1. Penelitian oleh S.S, Novi G. Pahiyanti (2015) membahas proteksi arus lebih pada penyulang Lenguh (SKTM) dan AUM (SUTM). Hasil penelitian menunjukkan bahwa koordinasi proteksi arus lebih mampu mengurangi dampak gangguan hubung singkat pada jaringan distribusi. Namun, penelitian ini belum secara khusus meneliti peran Fuse Cut Out (FCO) sebagai perangkat proteksi utama pada penyulang (Novi Gusti Pahiyanti, 2015).
2. T. D. Y. Wahyudin SN (2015) menganalisis pengaruh kecepatan Pemutus Tenaga (PMT) dalam mengamankan arus hubung singkat. Penelitian ini menunjukkan bahwa semakin cepat PMT bekerja, semakin kecil risiko kerusakan peralatan akibat gangguan. Meski demikian, penelitian ini tidak membahas koordinasi FCO dengan perangkat proteksi lain pada sistem distribusi (Wahyudin SN, 2015).

3. Penelitian oleh J. ARITONANG, (2021) meninjau operasional dan pemeliharaan Fuse Cut Out (FCO) pada jaringan distribusi 20 kV. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa efektivitas FCO sangat bergantung pada pemilihan dan perawatan fuselink sesuai standar. Namun, penelitian ini belum mengkaji secara mendalam perbedaan karakteristik fuselink tipe K dan T yang digunakan di lapangan (ARITONANG, 2021).
4. V. C. Sidabutar, (2023) melakukan analisa kerja Fuse Cut Out (FCO) pada transformator distribusi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa FCO dapat bekerja efektif melindungi transformator apabila rating fuselink sesuai dengan kapasitas trafo dan karakteristik arus inrush. Akan tetapi, penelitian ini terbatas pada proteksi transformator dan belum mengevaluasi FCO pada sistem penyulang (Sidabutar, 2023).
5. M. H. P. Ibnu Hajar (2018) menganalisis nilai SAIDI dan SAIFI sebagai indikator keandalan penyediaan tenaga listrik pada penyulang Cahaya PT PLN (Persero). Penelitian ini menunjukkan bahwa gangguan pada jaringan distribusi sangat memengaruhi nilai keandalan sistem. Namun, penelitian ini tidak meneliti secara spesifik kontribusi FCO dalam menurunkan indeks gangguan tersebut (Ibnu Hajar¹, 2018).

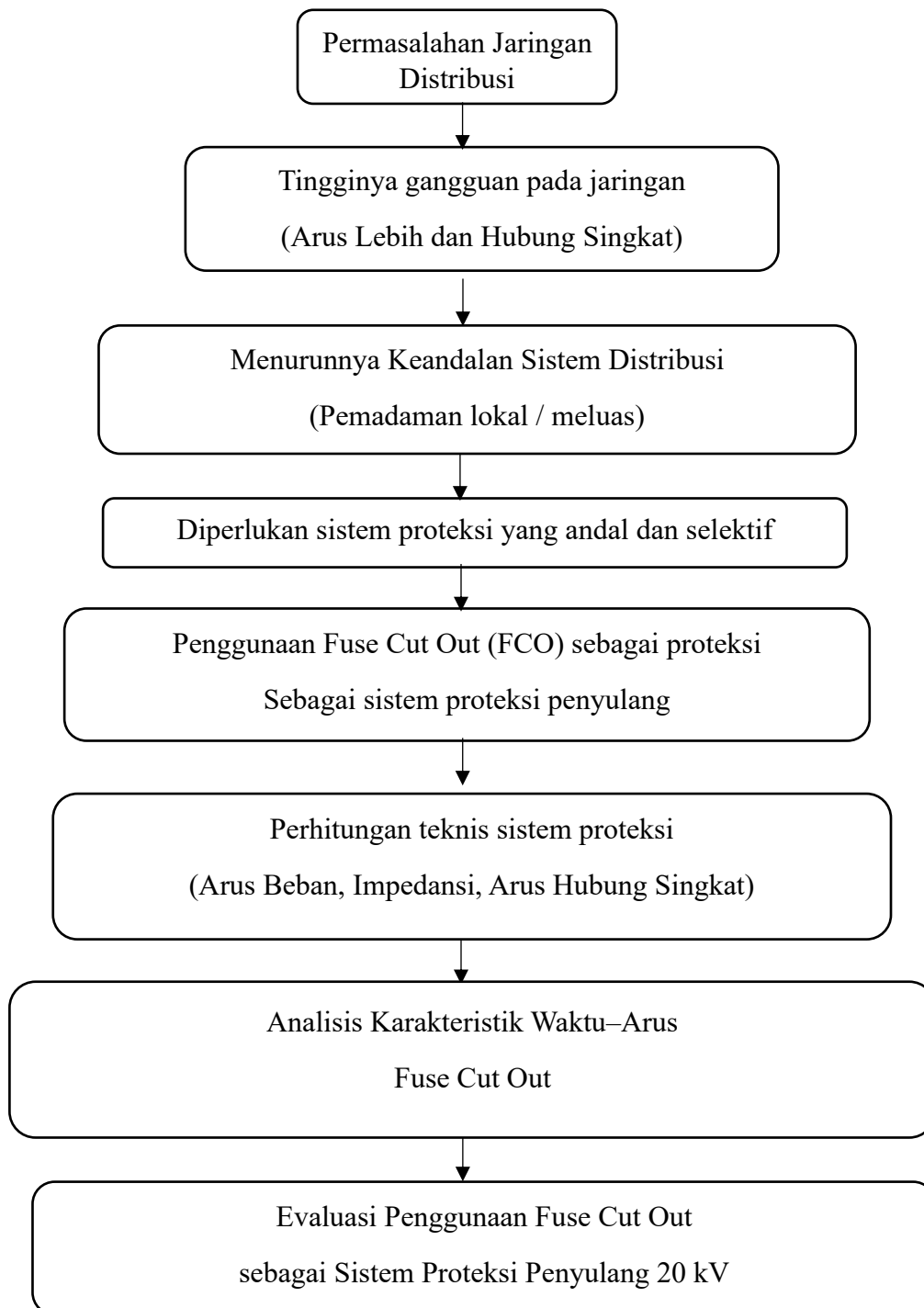
Table 2. 1 Penelitian yang Relevan

No	Judul dan Tahun	Masalah	Metodologi	Hasil	Riset Gap
1.	Proteksi Arus Lebih pada Penyulang Lenguh (SKTM) dan Penyulang	Tingginya gangguan arus lebih pada jaringan distribusi	Analisis arus hubung singkat dan perhitungan koordinasi proteksi	Koordinasi proteksi mampu mengurangi dampak gangguan hubung singkat	Belum membahas peran Fuse Cut Out (FCO) secara spesifik

	AUM (SUTM), Pahiyanti (2015)				
2.	Arus Hubung Singkat Diamankan oleh Pengaruh Kecepatan PMT, Wahyudin (2015)	Gangguan hubung singkat yang menimbulkan kerusakan peralatan	Analisis respon pemutus tenaga (PMT)	Respon cepat PMT menurunkan risiko kerusakan akibat gangguan	Tidak membahas koordinasi FCO dengan sistem proteksi lainnya
3.	Operasional dan Pemeliharaan n Fuse Cut Out (FCO) pada Jaringan Distribusi Tegangan Menengah 20 kV, Aritonang (2021)	Evaluasi efektivitas penggunaan FCO pada jaringan distribusi	Studi lapangan dan analisis operasional FCO	FCO efektif jika pemilihan fuselink sesuai standar dan dilakukan pemeliharaan	Belum mengkaji detail perbedaan karakteristik fuselink tipe K dan T

4.	Analisa Kerja Fuse Cut Out (FCO) pada Transformator Distribusi ML, Sidabutar (2023)	Ketidaksesuaian karakteristik FCO terhadap arus inrush trafo	Studi kasus dan analisis kurva arus-waktu	FCO efektif melindungi trafo jika rating fuselink sesuai kapasitas	Fokus hanya pada proteksi transformator, belum meneliti FCO di penyulang
5.	Analisa Nilai SAIDI & SAIFI sebagai Indeks Keandalan pada Penyulang Cahaya PT PLN (Persero), Ibnu Hajar (2018)	Tingginya indeks gangguan (SAIDI & SAIFI) pada penyulang distribusi	Evaluasi keandalan berbasis data gangguan historis	Memberikan gambaran tingkat keandalan sistem distribusi	Tidak meneliti peran FCO dalam pengurangan SAIDI & SAIFI

2.3 Kerangka Pemikiran



Gambar 2. 4 Kerangka Pemikiran

Berdasarkan kerangka pemikiran yang telah diuraikan sebelumnya, terdapat beberapa hal yang perlu dipersiapkan agar penelitian mengenai “Analisis Penggunaan Fuse Cut Out sebagai Sistem Proteksi Penyulang 20 kV Berbasis Perhitungan Teknis” dapat dilaksanakan secara sistematis dan terarah. Persiapan penelitian ini mencakup aspek kajian teoritis, data teknis, perangkat analisis, serta metode yang digunakan, yang diuraikan sebagai berikut:

1. Studi Literatur dan Referensi

- Mengumpulkan referensi dari jurnal ilmiah, buku teks, standar teknis, serta pedoman distribusi tenaga listrik yang berkaitan dengan sistem proteksi jaringan distribusi 20 kV.
- Mempelajari teori dasar mengenai sistem distribusi tenaga listrik, gangguan pada jaringan distribusi, prinsip kerja Fuse Cut Out (FCO), serta karakteristik waktu–arus fuse link sebagai dasar analisis proteksi.
- Menelaah literatur terkait konsep koordinasi proteksi antara Fuse Cut Out dengan perangkat proteksi lain seperti recloser dan circuit breaker.

2. Data Teknis Jaringan Distribusi

- Data teknis penyulang KT.06 (Batu Ampar) yang meliputi konfigurasi jaringan, jenis penghantar, serta karakteristik umum jaringan distribusi 20 kV.
- Data teknis peralatan proteksi yang digunakan pada jaringan, khususnya Fuse Cut Out, termasuk rating tegangan dan arus nominal fuse link.
- Data pendukung yang berkaitan dengan kondisi operasi jaringan sebagai dasar dalam melakukan perhitungan teknis, baik yang diperoleh dari lapangan maupun berdasarkan asumsi standar sistem distribusi.

3. Peralatan Analisis dan Perhitungan

- Diagram satu garis (*single line diagram*) penyulang sebagai acuan dalam analisis sistem proteksi.
- Parameter kelistrikan jaringan yang digunakan dalam perhitungan arus beban, impedansi jaringan, dan arus hubung singkat.
- Kurva karakteristik waktu–arus (*Time Current Characteristic/TCC*) Fuse Cut Out yang diperoleh dari datasheet pabrikan sebagai dasar analisis respon kerja proteksi terhadap gangguan.

4. Metodologi Analisis

- Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif berbasis perhitungan teknis, dengan melakukan perhitungan arus beban, impedansi jaringan, serta arus hubung singkat pada penyulang 20 kV.
- Hasil perhitungan teknis tersebut dianalisis menggunakan karakteristik waktu–arus Fuse Cut Out untuk mengevaluasi kesesuaian penggunaan FCO sebagai sistem proteksi penyulang.
- Analisis dilakukan secara deskriptif–kuantitatif dengan membandingkan hasil perhitungan terhadap prinsip sistem proteksi dan teori yang terdapat dalam literatur.

5. Sumber Daya Pendukung

- Dokumen teknis dan referensi terkait jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV.
- Bimbingan dari dosen pembimbing serta masukan dari pihak terkait sebagai bentuk validasi konseptual terhadap analisis yang dilakukan.
- Perangkat bantu perhitungan atau perangkat lunak pendukung, apabila diperlukan, untuk membantu analisis karakteristik proteksi secara teknis.

Dengan adanya persiapan berupa kajian literatur, data teknis, perangkat analisis, serta metode perhitungan yang sistematis, penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan analisis yang valid dan terarah. Seluruh tahapan tersebut bertujuan untuk memberikan gambaran yang jelas mengenai penggunaan Fuse Cut Out sebagai sistem proteksi penyulang 20 kV berbasis perhitungan teknis, sehingga dapat menjadi referensi dalam evaluasi sistem proteksi jaringan distribusi.