

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan tahapan akhir dari sistem tenaga listrik yang menyalurkan energi dari gardu induk menuju pelanggan. Sistem distribusi memiliki peran penting karena berhubungan langsung dengan keandalan pelayanan kepada pelanggan. Jaringan distribusi 20 kV (tegangan menengah) merupakan sistem tiga fasa yang umumnya disusun dalam bentuk jaringan radial atau loop.

Tujuan utama dari sistem distribusi adalah:

1. Menyalurkan energi listrik dengan kualitas dan kontinuitas yang baik,
2. Menyediakan proteksi yang andal terhadap gangguan,
3. Memastikan keamanan operasi bagi personel maupun peralatan, dan
4. Menjaga efisiensi penyaluran tenaga listrik.

Keandalan sistem distribusi diukur menggunakan dua parameter utama, yaitu: SAIDI (System Average Interruption Duration Index): menunjukkan rata-rata lama gangguan yang dialami pelanggan selama periode tertentu (menit/pelanggan).

SAIFI (System Average Interruption Frequency Index): menunjukkan rata-rata frekuensi gangguan yang dialami pelanggan (kali/pelanggan).

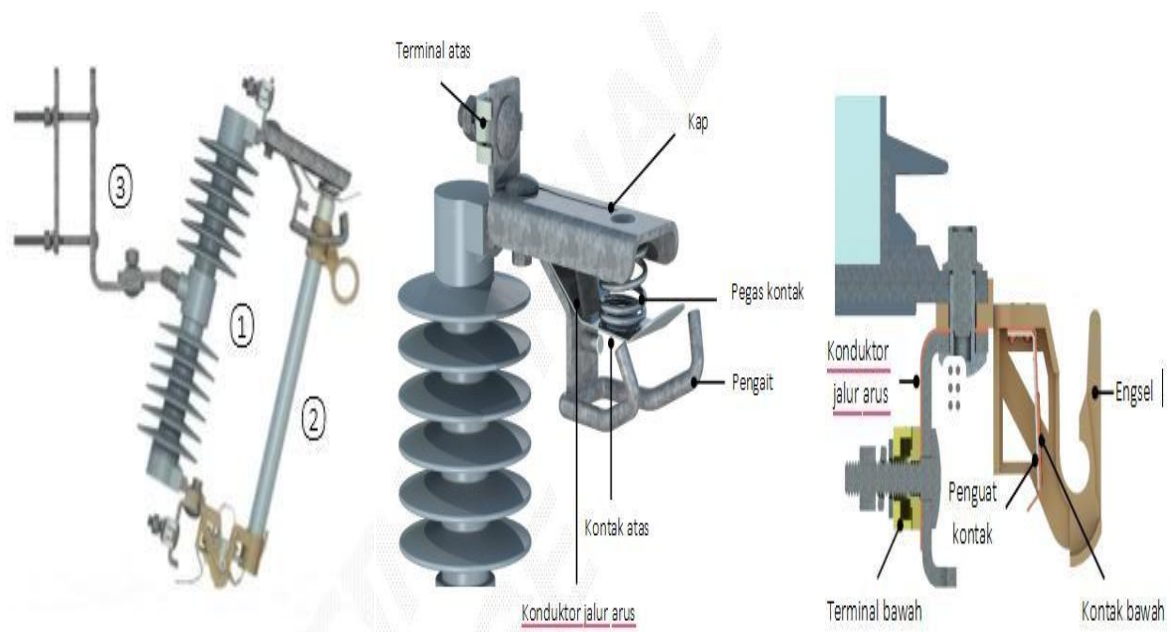
Nilai SAIDI dan SAIFI yang tinggi menandakan rendahnya keandalan sistem, sehingga dibutuhkan upaya pemeliharaan yang cepat dan efektif, termasuk melalui metode Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB).

2.1.2 Fuse Cut Out pada Jaringan Tegangan Menengah

Fuse Cut Out (FCO) merupakan salah satu komponen penting dalam sistem distribusi tenaga listrik tegangan menengah 20 kV. Alat ini berfungsi sebagai proteksi utama terhadap gangguan arus lebih (overcurrent) dan gangguan hubung singkat yang terjadi pada jaringan distribusi maupun transformator distribusi. FCO terdiri dari dua bagian utama, yaitu holder (rumah fuse) dan fuse link (kawat sekering) yang dirancang untuk meleleh ketika arus yang mengalir melebihi batas toleransi.

Penggunaan FCO tidak hanya untuk melindungi peralatan tetapi juga menjaga keandalan dan kontinuitas pasokan listrik kepada pelanggan. Dalam banyak kasus, FCO juga bertindak sebagai pengaman terhadap gangguan eksternal seperti sambaran petir atau benda asing yang menyebabkan lonjakan arus secara tiba-tiba. FCO mampu memutuskan sambungan secara cepat dan otomatis, sehingga mengisolasi gangguan tanpa memengaruhi sistem secara keseluruhan.

Menurut IEEE Std C37.41-2016 dan referensi teknis lainnya, FCO dipasang pada saluran udara sebagai pengaman terdepan sebelum masuk ke transformator distribusi atau peralatan pelanggan dan menjadi bagian penting dari sistem proteksi berlapis pada jaringan distribusi PLN. *Fuse Cut Out* dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Fuse Cut Out

FCO terdiri dari beberapa bagian utama, yaitu:

1. Bodi isolator: Berfungsi sebagai penopang tabung fuse link dan sebagai isolator antara konduktor bertegangan dengan tanah.
2. Tabung fuse link: Tempat fuse link dipasang. Tabung ini dirancang untuk dapat dilepas dan diganti dengan aman.
3. Fuse link (kawat lebur): Elemen yang akan meleleh saat terjadi arus lebih sehingga memutuskan aliran listrik.
4. Terminal penghubung dan pengait operasi: Digunakan untuk pemasangan dan pelepasan fuse link dengan tongkat isolasi atau alat bantu lainnya.

FCO memiliki dua fungsi utama, yaitu:

1. Sebagai sakelar pemutus manual (switching device), yang dapat digunakan untuk

memutus atau menyambung jaringan.

2. Sebagai alat proteksi otomatis, karena fuse link di dalamnya akan bekerja memutus aliran listrik ketika terjadi gangguan arus lebih.

2.1.3 Fuse Link

Fuse link adalah elemen pengaman utama yang bekerja berdasarkan prinsip pemanasan resistif (Joule heating). Saat arus yang mengalir melebihi batas nominal, kawat lebur (fuse element) di dalam fuse link akan meleleh, menyebabkan pemutusan arus listrik dan mencegah kerusakan pada peralatan lain.

Salah satu alat proteksi utama yang digunakan adalah *fuse link* yang dipasang pada tabung FCO. *Fuse link* bekerja berdasarkan prinsip termal dan elektromagnetik kawat akan meleleh ketika arus melebihi batas yang ditentukan, sehingga memutus aliran dan mengisolasi gangguan agar tidak merusak transformator.

Pemilihan ukuran *fuse link* disesuaikan dengan kapasitas beban transformator serta arus gangguan maksimum yang dapat ditoleransi, dengan rumus teknis sebagai berikut:

$$I_{fuse} = \frac{S_{transformator}}{\sqrt{3} \times V} \quad (2.1)$$

Keterangan :

1. I_{fuse} = arus nominal *fuse link* (Ampere)
2. $S_{transformator}$ = kapasitas transformator (Volt Ampere)
3. V = tegangan nominal (Volt)

Dengan penggunaan *fuse link* yang sesuai, FCO akan mengamankan transformator dari kerusakan yang bisa mengakibatkan padam meluas dan kerugian operasional. Penggunaan FCO dengan *fuse link* yang tepat juga meminimalkan risiko kerusakan total pada transformator, sehingga memperpanjang usia peralatan dan menghemat biaya investasi. Tabel *rating* pelebur *fuse link* FCO transformator dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Rating Pelebur Fuse Link FCO Transformator

No	Daya Trafo	Arus Primer Trafo		<i>Rating Fuse Link</i>
Satu Fasa (231 Volt)		In	1.2 x In	
1	16	1.39	1.66	2
2	25	2.17	2.60	3
3	50	4.33	5.20	5
Tiga Fasa (400 Volt)				
1	25	0.72	0.86	2
2	50	1.44	1.73	2
3	100	2.89	3.46	4
4	160	4.62	5.54	6
5	200	5.77	6.93	7
6	250	7.22	8.64	10
7	315	9.09	10.91	12
8	400	11.55	13.86	14
9	500	14.43	17.32	18
10	630	18.19	21.82	22
11	800	23.09	27.71	28
12	1000	28.87	34.64	35

Karakteristik Fuse Link pada Sistem Distribusi Fuse link berfungsi sebagai elemen pengaman yang akan memutus aliran listrik ketika terjadi arus lebih atau hubung singkat. Kinerja fuse link sangat dipengaruhi oleh kesesuaian rating dengan kapasitas transformator yang dilindungi. Fuse link yang terlalu kecil akan mudah putus meskipun tidak terjadi gangguan, sedangkan fuse link yang terlalu besar dapat gagal melindungi peralatan. Ketidakteraturan penggunaan fuse link di lapangan sering menjadi penyebab gangguan berulang pada jaringan distribusi. Oleh karena itu diperlukan upaya standarisasi untuk

memastikan setiap gardu menggunakan fuse link sesuai spesifikasi teknis.

2.1.4 Jenis Pemeliharaan Jaringan Tegangan Menengah

Pemeliharaan jaringan tegangan menengah adalah serangkaian kegiatan yang dilakukan untuk memastikan kelancaran operasional sistem kelistrikan. Pemeliharaan ini bertujuan untuk menjaga keandalan, keamanan, dan efisiensi dari infrastruktur kelistrikan yang dikelola. Berikut ini adalah beberapa jenis pemeliharaan jaringan tegangan menengah di PLN:

1. Pemeliharaan Rutin

PLN melakukan pemeliharaan rutin secara berkala pada peralatan dan jaringan listrik. Pemeliharaan rutin ini meliputi pemeriksaan, pengujian, dan pembersihan terhadap peralatan seperti transformator, *switchgear*, jaringan kabel, gardu distribusi dan lainnya. Tujuannya adalah untuk mendeteksi dan mencegah kemungkinan gangguan atau kerusakan pada sistem kelistrikan.

2. Pemeliharaan Preventif

PLN juga melakukan pemeliharaan preventif untuk mencegah terjadinya kerusakan atau gangguan pada peralatan listrik. Pemeliharaan preventif ini melibatkan inspeksi berkala, penggantian komponen yang sudah tua atau rusak, pelumasan peralatan, serta pengujian fungsi dan performa sistem secara berkala.

3. Pemeliharaan Korektif

Ketika terjadi kerusakan atau gangguan pada sistem kelistrikan, PLN melakukan pemeliharaan perbaikan. Tim teknisi PLN akan dikerahkan untuk mengidentifikasi dan memperbaiki masalah tersebut. Pemeliharaan perbaikan ini meliputi penggantian komponen yang rusak, perbaikan atau penggantian kabel yang terputus, perbaikan pada gardu distribusi, dan lainnya.

4. Pemeliharaan Darurat

PLN juga siap menghadapi situasi darurat seperti bencana alam atau kejadian tak terduga lainnya yang dapat mengganggu pasokan listrik. Dalam situasi darurat, PLN akan melakukan pemeliharaan darurat dengan mengutamakan pemulihan pasokan listrik sesegera mungkin. Hal ini melibatkan penanganan kegagalan peralatan secara cepat, pemulihan jaringan yang terganggu, dan koordinasi dengan pihak terkait untuk memastikan penanganan yang efektif.

2.1.5 Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB)

PDKB (Live Line Maintenance) adalah metode pemeliharaan jaringan listrik yang dilakukan saat sistem masih bertegangan. Tujuan utama PDKB adalah memastikan

keandalan pasokan listrik tetap terjaga dengan melakukan pekerjaan tanpa menyebabkan pemadaman.

Metode PDKB sangat efektif diterapkan pada sistem distribusi 20 kV karena memungkinkan pekerjaan seperti penggantian fuse link, perbaikan konektor, atau pemeliharaan isolator dilakukan tanpa gangguan pelayanan pelanggan.

2.1.6 Jenis Metode PDKB

1. Metode Berjarak (Distance Method): Petugas menggunakan tongkat isolasi untuk menjaga jarak aman dari konduktor bertegangan.
2. Metode Sentuh Langsung (Contact Method): Metode pemeliharaan jaringan listrik yang memungkinkan petugas menyentuh langsung konduktor bertegangan menggunakan alat dan perlengkapan khusus yang bersifat isolasi.
3. Metode Potensial: Petugas bekerja pada peralatan dengan tegangan yang sama dengan konduktor yang sedang dikerjakan.

Dari ketiga metode tersebut, PDKB Sentuh Langsung merupakan metode yang paling efektif untuk pekerjaan yang membutuhkan ketelitian tinggi, seperti penggantian fuse link FCO.

2.1.7 Prinsip Dasar PDKB Sentuh Langsung

PDKB sentuh langsung adalah metode kerja pemeliharaan jaringan listrik yang masih bertegangan, yang dilakukan dengan kontak langsung antara personel (melalui alat pelindung khusus) dan jaringan listrik

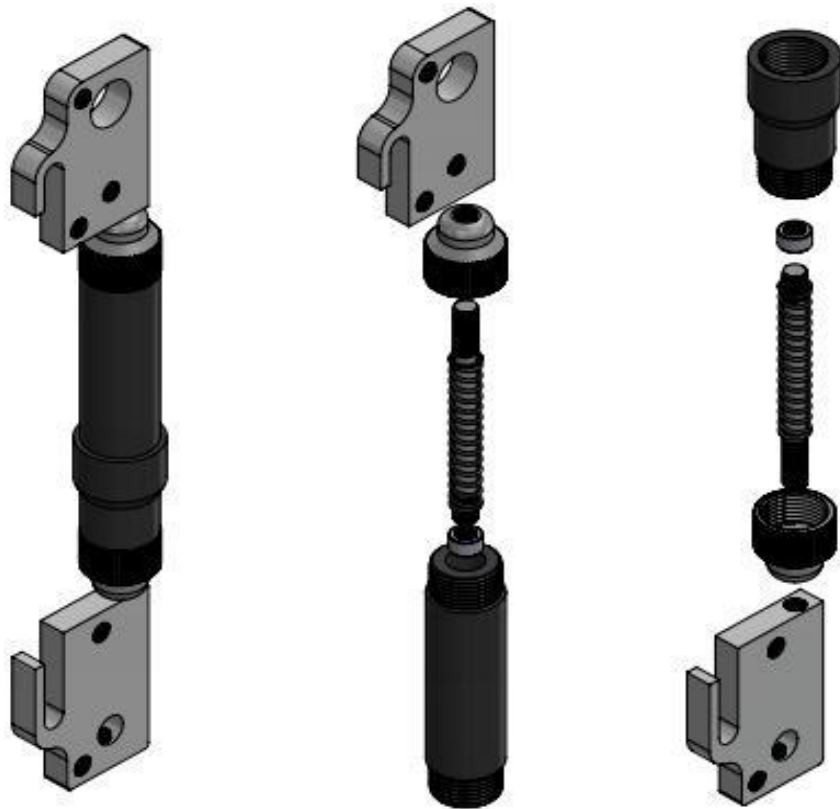
Kelebihan metode PDKB Sentuh Langsung:

1. Tidak menimbulkan pemadaman pelanggan,
2. Waktu kerja lebih efisien,
3. Aman jika dilakukan sesuai prosedur, dan
4. Memungkinkan pekerjaan pada posisi yang sulit dijangkau metode lain.

Namun demikian, metode ini menuntut petugas yang kompeten, disiplin, serta penggunaan alat bantu kerja yang telah teruji secara kelistrikan dan mekanik.

2.1.8 Inovasi Alat TARING (Tabung Spring)

TARING (Tabung Spring) adalah alat bantu yang digunakan untuk pekerjaan pemeliharaan Fuse Cut Out (FCO) baik pada gardu distribusi maupun di jaringan. Prinsip kerja TARING yaitu sebagai sambungan langsung sementara (temporary by pass) yang dapat menggantikan fungsi tabung sekering FCO. TARING dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. TARING (TABUNG SPRING)

Taring dibuat dari material pipa polyethylene (PE) dengan panjang 12,5 cm dan berdiameter 3 cm. Terdiri dari plat besi tebal, arc shortening rod dan spring. TARING dapat digunakan dalam pekerjaan seperti:

1. Standarisasi fuse link (rating fuse link)
2. Sebagai FCO sementara (temporary bypass)

Dengan adanya Taring pekerjaan pemeliharaan FCO khususnya penggantian *fuse link* tidak perlu lagi dilakukan pemadaman gardu sebelum pemeliharaan. Sehingga dengan di implementasikannya inovasi ini memiliki manfaat seperti :

1. Meningkatkan keandalan sistem distribusi: Mencegah kerusakan *transformator* akibat penggunaan *fuse link* dengan *rating* yang tidak sesuai
2. Efisiensi operasional: Mengurangi kehilangan energi (kWh) dan menghemat biaya operasional (rupiah).
3. Peningkatan kinerja SAIDI dan SAIFI: Menurunkan angka pemadaman dan durasi gangguan, mendukung kinerja PLN dalam indikator keandalan listrik.
4. Meningkatkan kepuasan pelanggan: Proses pemeliharaan tanpa padam meningkatkan kepercayaan dan citra perusahaan di mata pelanggan.
5. Praktis dan *portabel*: Alat ringan dan mudah dibawa ke lokasi, mendukung respon

cepat tim teknik di lapangan.

Potensi replikasi: TARING dapat diimplementasikan secara luas di seluruh wilayah kerja PLN maupun perusahaan distribusi listrik lainnya di Indonesia, sebagai bagian dari standar baru pemeliharaan jaringan tanpa padam.



Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE)

UHMWPE is light weight (1/8 the weight of steel), high tensile strength, and is easily machined. It is the ideal material for many wear parts in machinery and equipment as well as a superb lining in material handling systems and storage containers. UHMWPE is self-lubricating, chatter resistant, long-wearing, abrasion and corrosion resistant. It meets FDA and USDA acceptance for food and pharmaceutical equipment and is a good performer in applications up to 180 °F (82 °C) or when periodically cleaned with live steam or boiling water to sterilize.

TYPICAL PROPERTIES of POLYETHYLENE					Benefits Durability Easily fabricated Chemical resistance Abrasion resistance Electrical properties Impact resistance Low coefficient of friction Moisture resistance
ASTM or UL test	Property	LDPE	HDPE	UHMW	
PHYSICAL					
D792	Density (lb/in ³) (g/cm ³)	0.033 0.92	0.035 0.96	0.034 0.93	Applications Tanks and containers Food storage containers Laboratory equipment Disposable formed products Surface structures Vacuum formed end caps and tops Moisture barrier
D570	Water Absorption, 24 hrs (%)	<0.01	<0.01	<0.01	
MECHANICAL					
D638	Tensile Strength (psi) at 72°F	1,400	4,600	5,800	
D638	Tensile Strength (psi) at 150°F	400	400	400	
D638	Tensile Modulus (psi)	57,000	200,000	80,000	
D638	Tensile Elongation at Break (%)	100	400	300	
D790	Flexural Strength at Yield (psi)	1,500	4,600	3,500	
D790	Flexural Modulus (psi)	29,000	174,000	88,000	
D695	Compressive Strength (psi)	1,400	4,600	3,000	
D695	Compressive Modulus (psi)	54,000	100,000	80,000	
D732	Shear Strength (psi)	-	-	3,000	
D785	Hardness, Shore D	D45	D69	D62-D66	
D256	IZOD Notched Impact (ft-lb/in)	No Break	1.3	No Break	
THERMAL					
D696	Coefficient of Linear Thermal Expansion (x 10 ⁻⁵ in./in./°F)	-	6	11	
D648	Heat Deflection Temp (°F / °C) at 66 psi at 264 psi	120 / 48 116 / 46	170 / 76 176 / 80	203 / 95 180 / 82	
D3418	Approx. Melting Temperature (°F / °C)	244 / 118	260 / 125	275 / 136	
-	Max Operating Temp (°F / °C)	160 / 71	180 / 82	180 / 82	
C177	Thermal Conductivity (BTU-in/ft ² -hr-°F) (x 10 ⁻³ cal/cm-sec-°C)	- -	- -	2.84 10.0	
UL94	Flammability Rating	HB	HB<	HB	
ELECTRICAL					
D149	Dielectric Strength (V/mil) short time, 1/8" thick	460-700	450-500	2300	
D150	Dielectric Constant at 1 MHz	2.25- 2.30	2.30- 2.35	2.30- 2.35	
D150	Dissipation Factor at 1 kHz	0.0002	0.0002	0.0005	
D257	Surface Resistivity (ohm/square) at 50% RH	> 10 ¹⁵	> 10 ¹⁵	> 10 ¹⁵	
D495	Arc Resistance (sec)	135-160	200-250	250-350	

NOTE: The information contained herein are typical values intended for reference and comparison purposes only. They should NOT be used as a basis for design specifications or quality control. Contact us for manufacturers' complete material property datasheets. All values at 73°F (23°C) unless otherwise noted.

Gambar 2.3. Karakteristik Bahan PE

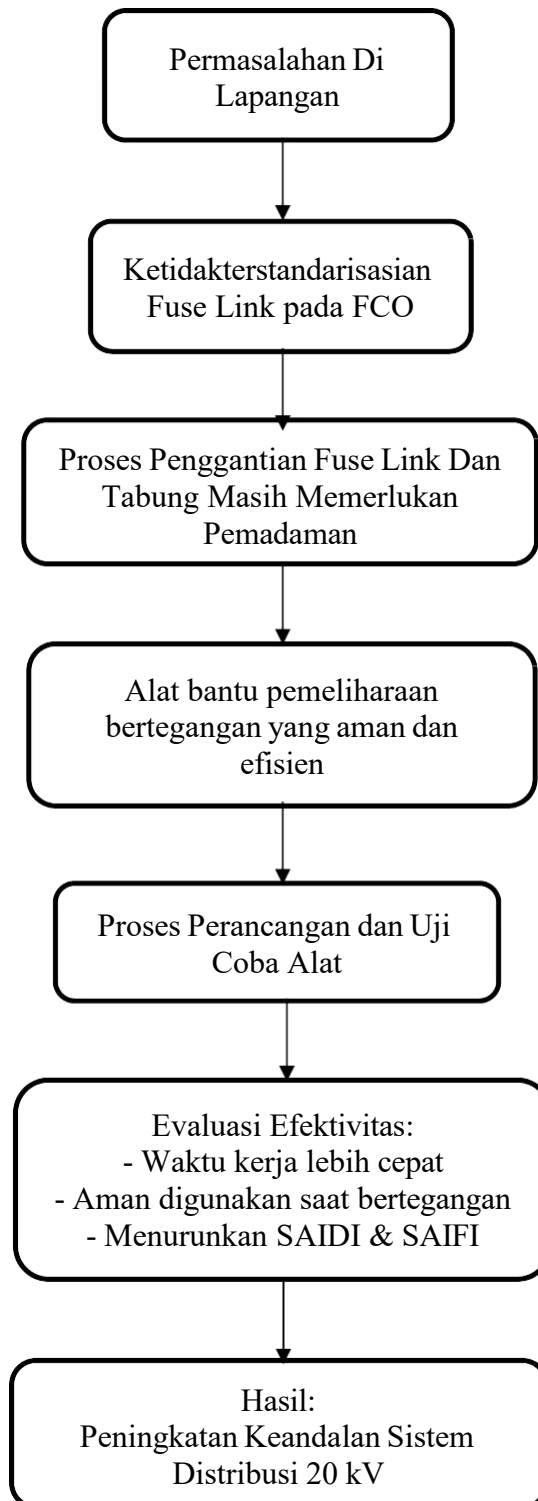
2.2 Penelitian dan Referensi Terkait

Beberapa penelitian terdahulu mendukung pengembangan teknologi pemeliharaan tanpa padam:

1. Sugiarto (2019) meneliti penerapan metode PDKB Sentuh Langsung dalam penggantian peralatan distribusi, dan terbukti mampu menurunkan nilai SAIDI hingga 30%.
2. Ardiansyah (2021) mengembangkan alat bantu isolasi mekanik untuk pekerjaan PDKB yang meningkatkan efisiensi waktu kerja hingga 25%.
3. PLN UIP3B Sumatera (2023) melaporkan inovasi alat bantu penggantian fuse link yang lebih ringan dan ergonomis, namun belum sepenuhnya mendukung standarisasi fuse link antar unit distribusi.

Dari hasil penelitian tersebut, dikembangkan alat TARING sebagai solusi lanjutan yang menyatukan fungsi standarisasi fuse link dan penggantian tabung fuse link secara bersamaan, sekaligus mendukung metode PDKB Sentuh Langsung.

2.3 Kerangka Pemikiran



Gambar 2.3. Diagram Kerangka Pemikiran