

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kajian Pustaka Relevan

“Studi Analisa Proteksi OCR dan GFR di Kubikel 20 kV Penyulang RSUD pada PT. PLN (Persero) Rayon Kuranji”, yang ditulis oleh Zulkarnaini, dkk pada tahun 2022. Pada jurnal tersebut membahas tentang arus hubung singkat yang terjadi pada saat Lokasi gangguan 0 – 100 % dari panjang penyulang serta setting TMS OCR dan GFR. [1]

“Evaluasi Kinerja Setting Proteksi Over Current Relay dan Ground Fault Relay Jaringan Distribusi 20 kV pada Gardu Induk Pankkukang”, yang ditulis oleh Mustari Rauf, dkk pada tahun 2021. Pada penelitian tersebut tujuan nya adalah menghitung arus hubung singkat serta mengevaluasi kinerja setting berdasarkan standard grading time. [2]

“Evaluasi Setting Relay Arus Lebih dan Relai Gangguan tanah di Gardu Induk Ngabang”, yang ditulis oleh Muhammad Faidhal Anwar Limbong pada tahun 2019. Pada tugas akhir tersebut membahas tentang evaluasi setting relay arus lebih dan relai gangguan tanah di Gardu Induk Ngabang sesuai standard IEC 60255 dengan grading time 0,3 -0,5 detik. [3]

“Evaluasi Setting Relay Proteksi dan Drop Voltage pada Gardu Induk Srandol Semarang menggunakan ETAP 7.5 ”, yang ditulis oleh Mahfudh Sanusi, dkk pada tahun 2015. Pada tugas akhir tersebut membahas tentang evaluasi setting relay proteksi dan evaluasi drop tegangan dengan menggunakan simulasi ETAP 7.5. [4]

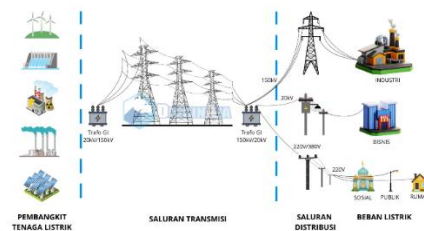
Dari tugas akhir yang telah dilakukan diatas, pembahasan evaluasi setting nya hanya membahas dan menjelaskan tentang setting relay saja tanpa adanya penggantian relay numerik yang memiliki fasilitas PSL. Jadi disini saya ingin membahas evaluasi setting relay OCR di sisi HV pada Bay Trafo 1 GI Tarik.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Sistem Tenaga Listrik

Sistem kelistrikan adalah sebuah jaringan yang terintegrasi yang bertujuan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik dengan memperhatikan keseimbangan antara permintaan dan penawaran energi listrik, agar dapat memenuhi kebutuhan listrik masyarakat di area operasi PLN dalam jangka panjang dan secara berkelanjutan.

Umumnya, sistem kelistrikan terdiri dari tiga fungsi utama. Yang pertama adalah pembangkit, yang kedua adalah infrastruktur yang memiliki peran untuk mentransfer energi listrik dari pembangkit menuju area yang dekat dengan konsumen energi listrik, yang dikenal sebagai transmisi, dan yang ketiga adalah perangkat listrik yang berfungsi untuk menyalurkan energi listrik ke instalasi pelanggan, di mana energi tersebut harus melalui alat pengukur listrik yang disebut distribusi. [5]



Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik

2.2.2. Gardu Induk

Sebuah Gardu Induk (GI) bertugas mengalirkan listrik dari sistem transmisi ke sistem distribusi di area tertentu. Fungsi utama gardu induk adalah untuk menurunkan tingkat tegangan listrik agar dapat disalurkan secara lokal. Ini dilakukan karena tidak efisien jika pengguna listrik dihubungkan langsung dengan jaringan transmisi utama, kecuali jika pengguna mengkonsumsi listrik dalam jumlah besar.

Sumber elektrik untuk sebuah gardu induk biasanya berasal dari minimal dua jalur transmisi. Tingkat tegangan yang masuk ke gardu umumnya mencapai 150 kV. Tegangan tersebut kemudian diturunkan menjadi berada di antara 2,4 kV hingga 33 kV, bergantung pada ukuran wilayah yang dilayani. Setelah proses penurunan, listrik didistribusikan melalui penyulang yang terletak di tepi jalan atau di bawah tanah menuju trafo distribusi yang berlokasi dekat pengguna.

Di samping mengubah tegangan, gardu induk juga berperan dalam mengisolasi gangguan yang terjadi pada sistem distribusi dan sistem transmisi listrik yang terhubung. Gardu induk biasanya bertindak sebagai titik kontrol tegangan, meskipun pada jaringan listrik yang sangat panjang, peralatan pengatur tegangan juga dapat dipasang di sepanjang rute tersebut.

Kota-kota dengan kepadatan tinggi biasanya memiliki gardu induk yang kompleks, lengkap dengan saklar voltase tinggi, saklar, dan sistem cadangan untuk listrik voltase rendah. Sementara itu, gardu induk yang lebih sederhana umumnya hanya dilengkapi dengan satu saklar, satu trafo, dan sedikit perangkat untuk listrik voltase rendah. [6]



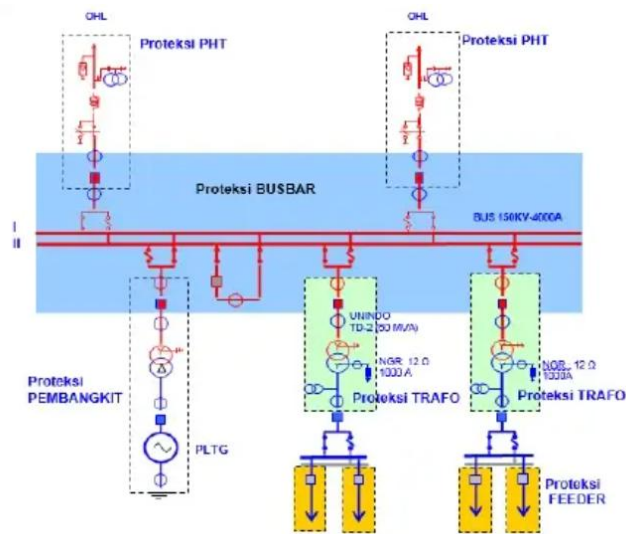
Gambar 2.2 Gardu Induk

2.2.3. Sistem Proteksi di Gardu Induk

Menurut IEEE, sistem proteksi di gardu induk melibatkan standar untuk proteksi petir (IEEE Std. 998), sistem pentanahan (IEEE Std. 80), dan panduan umum untuk desain, pengoperasian, dan pemeliharaan sistem proteksi dan kontrol terpusat (IEEE C37.300). Sistem ini mencakup elemen seperti relai, transformator, pemutus tenaga (PMT), dan sistem pentanahan untuk mendeteksi dan membatasi kerugian akibat gangguan, memastikan keselamatan personel, dan menjaga kelancaran penyaluran daya listrik. Elemen sistem proteksi di gardu Induk dan fungsinya :

- a. Relai Proteksi: Mendeteksi kondisi abnormal seperti arus lebih atau gangguan tanah dan mengaktifkan sistem proteksi yang sesuai. Contohnya termasuk relai diferensial dan relai arus lebih.

- b. Transformator Arus (CT) dan Transformator Tegangan (PT): Mengukur dan mengkonversi besaran primer (tegangan dan arus) menjadi sinyal yang dapat diukur dan diolah oleh relai.
- c. Pemutus Tenaga (PMT): Membuka (memutuskan) sirkuit ketika terjadi gangguan, memisahkan bagian gardu induk yang terganggu dari sistem yang sehat.
- d. Sistem Pentanahan: Menyediakan jalur impedansi rendah untuk arus gangguan mengalir ke bumi, melindungi peralatan dan personel. [7]



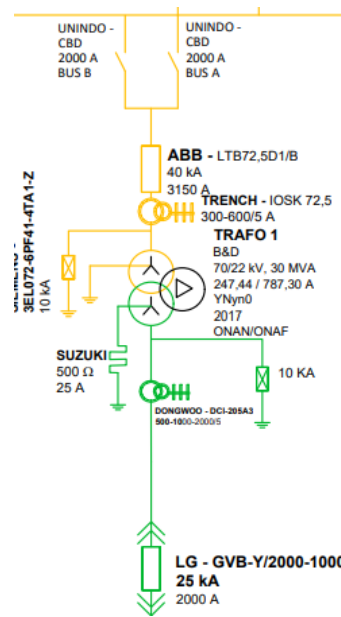
Gambar 2.3 Sistem Proteksi di Gardu Induk

2.2.4. Sistem Proteksi pada Bay Trafo

Menurut Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), sistem proteksi pada bay trafo didasarkan pada standar IEEE C37.91-2021: *Guide for Protecting Power Transformers*. Standar ini memberikan panduan mengenai filosofi proteksi, skema implementasi, perangkat, dan aplikasi praktis untuk melindungi transformator daya. Secara umum, sistem proteksi trafo dirancang untuk mendeteksi dan mengisolasi gangguan secepat mungkin, baik yang terjadi di dalam trafo (internal) maupun di luar zona proteksi (eksternal), guna meminimalkan kerusakan pada peralatan dan menjaga stabilitas sistem.

Skema proteksi kelistrikan utama, Berdasarkan panduan IEEE skema proteksi kelistrikan utama yang digunakan untuk trafo daya mencakup :

- a. Relai Diferensial Persentase (87T): Ini adalah proteksi utama untuk gangguan internal di dalam trafo, termasuk gangguan hubung singkat antar belitan atau antar fasa. Relai ini bekerja dengan membandingkan arus yang masuk dan keluar dari zona proteksi trafo. Jika ada perbedaan arus yang melebihi batas persentase yang ditentukan, relai akan mengirimkan sinyal trip.
- b. Relai Diferensial Tanah Terbatas/REF (Restricted Earth Fault): Digunakan sebagai proteksi utama untuk gangguan tanah internal di dalam trafo. Relai ini lebih sensitif daripada relai diferensial persentase dalam mendeteksi gangguan tanah yang kecil.
- c. Relai Arus Lebih (50/51): Digunakan sebagai proteksi cadangan untuk trafo dari gangguan hubung singkat, baik internal maupun eksternal.
 - 50: Arus Lebih Sesaat (Instantaneous Overcurrent): Bekerja dengan cepat tanpa penundaan waktu untuk gangguan arus yang besar.
 - 51: Arus Lebih Waktu Tunda (Time-Inverse Overcurrent): Bekerja dengan karakteristik waktu tunda yang berbanding terbalik dengan besarnya arus gangguan.
- d. Relai Arus Lebih Tanah (50N/51N): Digunakan untuk mendeteksi gangguan hubung singkat fasa ke tanah.
 - 50N: Arus Lebih Tanah Sesaat
 - 51N: Arus Lebih Tanah Waktu Tunda [8]



Gambar 2.4 Sistem Proteksi di Gardu Induk

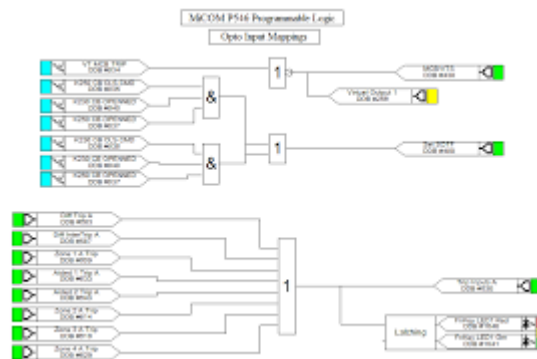
2.2.5. PSL (Programmable Scheme Logic)

PSL (Programmable Scheme Logic) pada relay, khususnya seri MICOM/Schneider, adalah fitur perangkat lunak yang memungkinkan pengguna merancang logika proteksi, kontrol input/output (I/O), dan konfigurasi LED secara kustom. PSL berfungsi menghubungkan sinyal input dan output, seperti opto signals, GOOSE, serta blok logika (AND/OR), guna mengatur perilaku relay.

Berikut adalah poin-poin penting terkait PSL Relay:

- Fungsi Utama: Memprogram logika kerja relay, seperti mengatur skema trip, penguncian, atau auto-reclose pada gardu induk.
- Aplikasi: Digunakan dalam rekayasa sistem tenaga listrik untuk memodifikasi fungsi proteksi.
- Komponen: Mencakup sinyal input (opto), output (kontak), gate logika (AND, OR, SR Latch), dan GOOSE (IEC 61850).
- Software Konfigurasi: Umumnya dikonfigurasi melalui MiCOM S1 Studio atau Easergy Studio.

PSL memberikan fleksibilitas tinggi agar relay numerik dapat disesuaikan dengan kebutuhan proteksi spesifik di lapangan.



Gambar 2.5 PSL (Programmable Scheme Logic)

2.2.6. Isolator

Isolator merupakan komponen vital dalam sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik yang berfungsi menahan konduktor bertegangan serta mencegah terjadinya arus bocor dan flashover. Secara konvensional, isolator terbuat dari porselen dan kaca karena memiliki kekuatan dielektrik dan ketahanan termal yang baik. Namun, material tersebut memiliki kelemahan seperti berat yang besar, mudah pecah, serta permukaan yang dapat menyerap air sehingga berpotensi meningkatkan arus bocor pada kondisi lembap.

Perkembangan teknologi material mendorong penggunaan isolator polimer berbasis silicone rubber (SiR) sebagai alternatif yang lebih ringan dan memiliki sifat hidrofobik tinggi. Silicone rubber menawarkan berbagai keunggulan seperti bobot ringan, kemudahan pemasangan, ketahanan terhadap penuaan lingkungan, serta kerugian dielektrik yang rendah. Meskipun demikian, material ini memiliki keterbatasan pada ketahanan sobek dan kekuatan mekanik tertentu sehingga diperlukan penambahan bahan pengisi (filler) untuk meningkatkan performanya.

Salah satu bahan pengisi yang potensial adalah coal fly ash, yaitu limbah hasil pembakaran batubara pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Fly ash mengandung senyawa utama seperti silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), dan besi oksida (Fe_2O_3), yang berkontribusi terhadap peningkatan sifat mekanik dan stabilitas material komposit. Pemanfaatan fly ash sebagai filler tidak hanya meningkatkan karakteristik material isolator, tetapi juga mendukung pengurangan dampak lingkungan akibat penumpukan limbah industry.

Berdasarkan penelitian penambahan fly ash pada silicone rubber berpengaruh signifikan terhadap karakteristik mekanik, khususnya kekuatan tarik (tensile strength) dan elongasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada ketebalan 2 mm, kekuatan tarik meningkat pada komposisi filler 10%–40%, kemudian menurun pada komposisi di atas 40%. Pada ketebalan 3 mm, peningkatan terjadi pada komposisi 10%–30% dan menurun setelah melebihi 30%. Hal ini menunjukkan adanya komposisi optimum yang mampu meningkatkan kekuatan tarik material. Penurunan kekuatan tarik pada komposisi tinggi

disebabkan oleh distribusi partikel filler yang kurang homogen dan kemungkinan terjadinya aglomerasi.

Sementara itu, nilai elongasi cenderung menurun seiring bertambahnya persentase fly ash. Penurunan elongasi menunjukkan bahwa material menjadi lebih kaku dan kurang elastis akibat interaksi antarpartikel filler yang membatasi pergerakan rantai polimer. Dengan demikian, meskipun penambahan fly ash dapat meningkatkan kekuatan tarik hingga batas tertentu, peningkatan komposisi yang berlebihan dapat mengurangi fleksibilitas material.[22]