

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam pengoperasian sistem tenaga listrik, gangguan yang terjadi pada peralatan listrik dapat berdampak signifikan terhadap kinerja dan umur pakai peralatan salah satu jenis gangguan yang paling umum adalah gangguan hubung singkat, gangguan hubung singkat yang terjadi dalam waktu lama dapat menyebabkan arus listrik yang berlebihan mengalir melalui peralatan, menyebabkan panas yang berlebihan sehingga dapat mempercepat usia pakai peralatan. Selain itu, gangguan seperti lonjakan arus atau gangguan yang terjadi secara berulang juga dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan akibat beban yang melebihi kapasitas peralatan tersebut. Maka dari itu diperlukan sistem proteksi yang andal agar dapat terjaga dari gangguan eksternal seperti gangguan hubung singkat tiga fasa dan antar fasa [1].

Berdasarkan data kejadian gangguan pada transformator di P3B Jawa Bali, gangguan eksternal merupakan penyebab yang paling dominan. Gangguan eksternal didefinisikan sebagai gangguan yang terjadi pada sisi sekunder transformator, dimana gangguan ini terjadi pada penyulang [2]. Sementara berdasarkan data histori PLN UIT JBT kegagalan transformator diakibatkan oleh belitan 61%, *On Load Tap Changer* sebesar 23% dan akibat kerusakan *bushing* sebesar 16% [3]. Salah satu fungsi utama sistem proteksi adalah mengisolasi area yang terdapat gangguan secepat mungkin, agar area lain yang tidak terdampak masih bisa beroperasi dan tetap menyalurkan energi listrik [4].

Sistem koordinasi pola proteksi yang tepat diperlukan untuk mengurangi kerusakan yang disebabkan oleh gangguan, dan sesuai dengan persyaratan sistem proteksi yaitu cepat, sensitif, selektif, andal, dan ekonomis [5]. Pola proteksi yang kini banyak diterapkan pada transformator distribusi PLN ialah sistem koordinasi proteksi *cascade*, pada sistem ini diatur dengan ambang batas arus yang berbeda-beda. Relai yang terdekat dengan titik masuk arus lebih memiliki ambang batas yang lebih rendah, sementara relai yang lebih jauh memiliki ambang batas yang lebih tinggi. Hal ini memungkinkan relai yang berdekatan dengan sumber gangguan untuk merespons lebih cepat, sementara relai yang lebih jauh dapat

mengambil tindakan jika gangguan tidak diatasi oleh relai yang lebih dekat. Dalam kasus pengaturan ambang batas arus yang tidak sesuai dengan kondisi aktual jaringan dan keterlambatan respons proteksi dari relai-relai juga menjadi perhatian penting. Ketidakcocokan antara relai proteksi trafo dan penyulang, terutama dalam hal pengaturan waktu operasi dan ambang batas, dapat mengakibatkan respon yang tidak tepat terhadap gangguan. Sedangkan dengan sistem koordinasi proteksi *non-cascade* relai-relai disisi penyulang 20 kV dapat dikomunikasikan baik secara pengawatan (*hardwire*) maupun menggunakan protokol *goose message* IEC 61850 dengan relai disisi hulunya (*incoming*), dimana meskipun momen relai-relai dikedua sisi trafo diaktifkan, namun masih tetap diperoleh selektifitas yang baik.

Penelitian tugas akhir ini akan melakukan studi sistem koordinasi proteksi pada *incoming* dan penyulang transformator. Dengan membandingkan kinerja dari pola *cascade* dan *non-cascade* menggunakan protokol *goose message* IEC 61850 dapat diketahui sistem pola proteksi yang baik, sehingga gangguan dalam sistem tenaga listrik dapat ditangani dengan cepat dan selektif.

1.2 Kajian Riset Terdahulu

Kajian riset terdahulu adalah bentuk penegasan keaslian karya ilmiah yang dibuat, selain itu agar terciptanya ide-ide baru dalam dunia teknologi yang berkembang sekarang dan menjelaskan perbandingan terhadap riset yang telah dilakukan sebelumnya yang menjadi acuan pembuatan tugas akhir ini. Penelitian yang relevan dan telah dilakukan sebelumnya akan disajikan pada Tabel 1.1. Pada langkah ini juga peneliti akan menjelaskan secara singkat isi dari masing-masing penelitian sebelumnya serta perbedaan penelitian yang akan dilakukan oleh peneliti.

Tabel 1. 1 Kajian riset terdahulu.

| No | Peneliti | Tahun | Judul |
|----|---|-------|---|
| 1 | Nurhabibah Naibaho, Fakhri Mubarak Pratama. | 2024 | Analisis Gangguan Sistem Koordinasi Proteksi Non-Cascade Penyulang 20kV Di Gardu Induk Cengkareng |

| No | Peneliti | Tahun | Judul |
|----|--|-------|--|
| 2 | Romadhoni Trio Imawan, Hadi Tasmono, Reza Sarwo Widagdo. | 2023 | Koordinasi Relai Arus Lebih Pola Non-Kaskade Pada Transformator Daya III di Gardu Induk 150 kV Tanggul |
| 3 | Muhammad Luthfiansyah Romadhoni, Muhammad Fadli Nasution, Riarsari Meirani Utami. | 2022 | Penerapan Pola Koordinasi Proteksi Non-Cascade Pada OCR Incoming Dan OCR Penyulang Trafo |
| 4 | Hari Prasetijo, Widhiatmoko H.P., Edwin Triwijaya. | 2019 | Simulasi Koordinasi Arus Relai Lebih Pola Non Kaskade |

Penelitian yang dilakukan oleh Nurhabibah Naibaho, dkk membahas mengenai gangguan yang terjadi pada tanggal 08 Februari 2023 yang mana gangguan tersebut terjadi pada penyulang Kosmetik [6]. PMT penyulang Kosmetik trip dengan arus gangguan 11kA indikasi relai *Moment Over Current* (OC) clear dengan waktu 170ms, namun PMT (Pemutus Tenaga) *incoming* 20kV trafo 3 juga trip dengan waktu 169ms dan indikasi relai OC dan Busbar *Protection Operate*. Hasil dari investigasi menunjukkan bahwa *Logic Busbar Protection* pada relai penyulang belum aktif, maka diperlukan tindak lanjut perbaikan *ReSetting* pada relai penyulang. Hasil uji fungsi waktu relai penyulang kosmetik sesudah *ReSetting*, arus setting dan waktu trip sudah sesuai dengan standar, dimana arus yang di setting yaitu $I >$: 2A diuji dengan arus uji 4A didapat waktu 1,422s, arus uji 6A didapat waktu 0,967s, arus uji 10A didapat waktu 0,689s, setting $I >>$: 27,5A didapat waktu 0,277s, dan $I >>>$: 55A didapat waktu 0,175s. Dan hasil uji fungsi Busbar Protection relai penyulang, Logic Output Relai Busbar Protection berhasil membloking sinyal tegangan 110 VDC ke arah relai *incoming* saat uji arus lebih pada relai kosmetik. Gangguan ini mengakibatkan beberapa konsumen

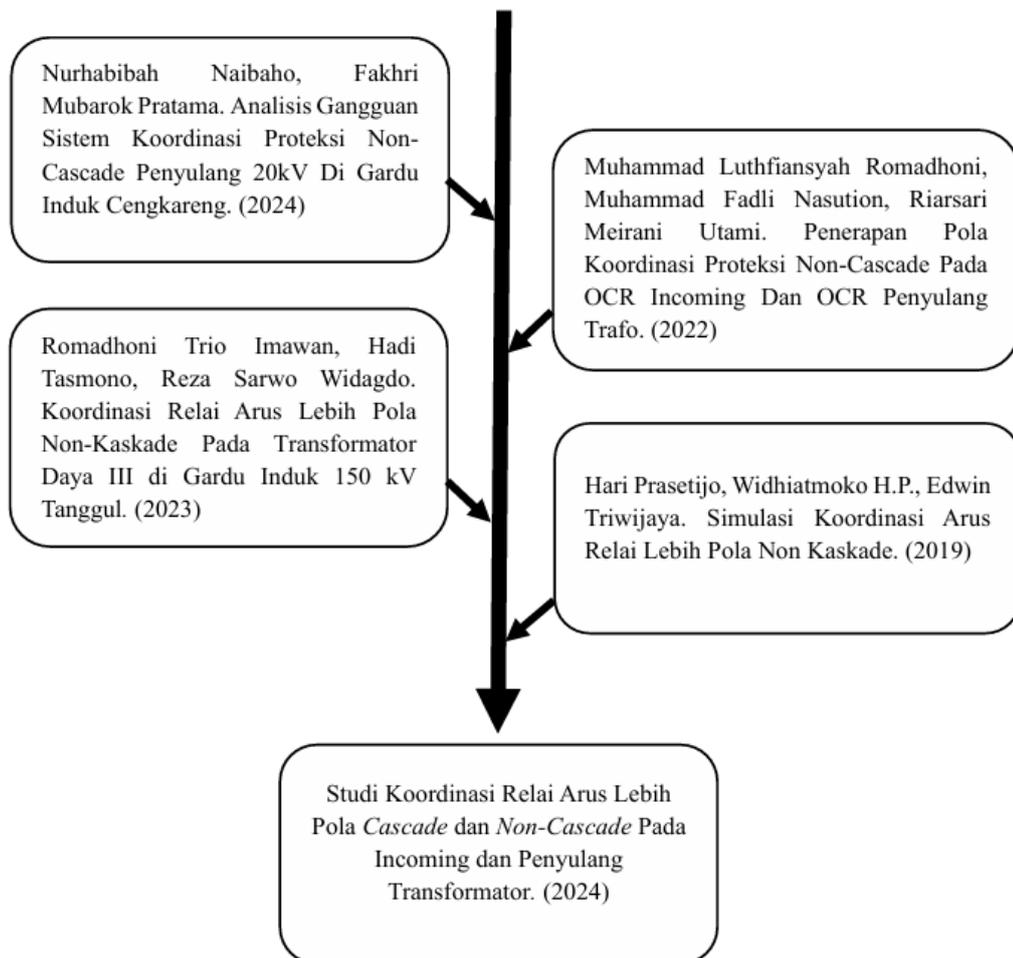
perumahan, perusahaan dan pergudangan daerah Daan Mogot padam selama 4 menit.

Penelitian yang dilakukan oleh Romadhoni Trio Imawan, dkk membahas koordinasi relai yang mana pada Gardu Induk Tanggul yang dilengkapi dengan 3 Transformator Daya ber-tegangan 150/22 kV [7]. Transformator Daya III dilengkapi dengan sistem proteksi relai arus lebih yang bertujuan untuk mendeteksi arus gangguan yang melebihi setting arus yang ditentukan. Relai Arus Lebih ini memiliki dua pola koordinasi, yaitu koordinasi pola kaskade dan pola non-kaskade, dengan pola non-kaskade dianggap lebih optimal karena mampu memutus gangguan dengan lebih cepat. Dalam pola koordinasi kaskade, waktu pemutusan trip pada PMT *incoming* saat terjadi gangguan di penyulang mlokorejo adalah 1,111 detik, sedangkan pada gangguan di penyulang mojomulyo, waktu pemutusan trip PMT *incoming* adalah 1,7 detik. Namun, dalam koordinasi pola non-kaskade, jika terjadi kegagalan trip, *Circuit Breaker Failure* akan mengirim sinyal pemutusan ke relai arus lebih sisi masukan 22 kV agar bekerja dengan setelan waktu pada sisi penyulang. Akibatnya, saat terjadi gangguan di penyulang mlokorejo, PMT *incoming* akan trip dalam waktu total 0,594 detik, dan saat gangguan terjadi di penyulang mojomulyo, PMT *incoming* akan trip dalam waktu total 0,766 detik.

Penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Luthfiansyah Romadhoni, dkk menjelaskan bahwa permasalahan pada pola koordinasi proteksi eksisting adalah hanya menggunakan koordinasi waktu tunda trip antara *Over Current Relay* (OCR) *incoming* dan OCR penyulang untuk mengisolasi gangguan pada sistem [8]. Ketika terjadi gangguan di busbar 20kV, arus gangguan yang besar akan mengalir melalui transformator selama waktu tunda operasi. Pola koordinasi proteksi *non-cascade* menggunakan koordinasi sederhana antara OCR *incoming* dan semua OCR penyulang untuk menentukan lokasi gangguan dengan tepat. Dengan menggunakan skema koordinasi ini, gangguan busbar 20kV dapat dideteksi secara akurat dan dapat di isolasi secara instan namun tetap memberikan waktu kepada OCR penyulang jika terjadi gangguan terjadi di pemyulang.

Penelitian yang dilakukan Hari Prasetijo, dkk menjelaskan bahwa kondisi di Gardu Induk 150 kV Rawalo saat ini adalah pola koordinasi kaskade, namun kelemahan pada pola ini adalah pengaturan waktu kerja OCR incoming selama 1 detik, sehingga jika terjadi kegagalan kerja pada OCR feeder maka transformator akan terganggu selama 1 detik [9]. Oleh karena itu, dibutuhkan pola koordinasi baru yang tidak mengabaikan selektifitas sistem pengamanan dan dapat mempercepat waktu kerja OCR *incoming* yaitu pola koordinasi non-kaskade. Studi ini dilakukan untuk menganalisa penerapan pola koordinasi OCR non-kaskade di Gardu Induk 150 kV Rawalo. Untuk mengetahui kinerja pola koordinasi non-kaskade dilakukan simulasi pada Matlab Simulink 7.0.1. Hasil simulasi kinerja pola non kaskade jika OCR feeder mengalami kegagalan kerja maka OCR *incoming* akan bekerja 0,6 detik setelah gangguan terjadi, sehingga transformator hanya akan terganggu selama 0,6 detik.

Berdasarkan referensi dari kajian riset terdahulu mengenai koordinasi relai pola *cascade* dan *non-cascade* memiliki persamaan mencoba menerapkan pola *non-cascade (hardwire)*. Pada penelitian ini akan dilakukan studi koordinasi relai arus lebih pola *cascade* dan *non-cascade* pada *incoming* dan penyulang transformator untuk dilakukan perhitungan *setting*, penerapan.. Adapun hubungan dari kajian riset terdahulu yang digunakan pada penelitian ini berjumlah empat rujukan yang terdiri dari jurnal internasional dan nasional, yang ditunjukkan pada Gambar 1.1.



Gambar 1. 1 Penelitian terkait.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil *setting* relai menggunakan pola proteksi *non-cascade*?
2. Berapa lama waktu kerja relai dengan menggunakan pola proteksi *non-cascade*?
3. Bagaimana kinerja relai dengan pola proteksi *cascade* dan pola *non-cascade*?

1.4 Tujuan dan Manfaat

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah maka tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1.4.1 Tujuan

Tujuan dari penelitian yang dilakukan ini adalah:

1. Melakukan *setting* relai dengan menggunakan pola proteksi *non-cascade*.
2. Menganalisis waktu kerja relai menggunakan pola proteksi *non-cascade*.
3. Menganalisis kinerja relai antara pola *cascade* dan *non-cascade*.

1.4.2 Manfaat

Penelitian ini memiliki dua poin manfaat yang ingin dicapai:

1. Manfaat Akademis

Penelitian ini diharapkan menjadi rujukan untuk pengembangan yang akan dilaksanakan kedepannya, serta menjadi ilmu pengetahuan yang baru khususnya mengenai koordinasi pola proteksi.

2. Manfaat Praktis

Penelitian ini diharapkan menjadi solusi untuk diterapkan pola proteksi yang lebih andal dan memiliki waktu pemisahan gangguan yang lebih singkat agar transformator dan peralatan lainnya terhindar dari arus gangguan yang lama sehingga dapat mempercepat umur pakai peralatan.

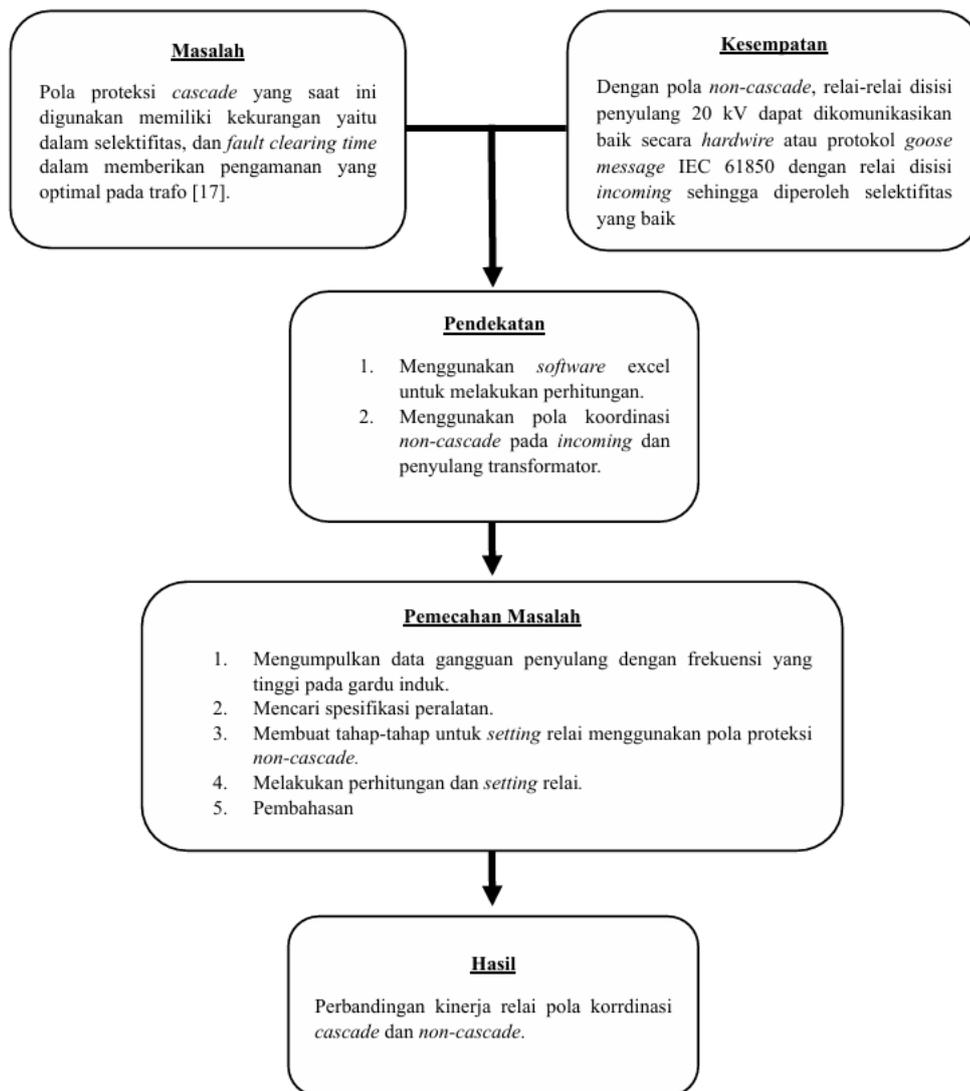
1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan pada trafo 1 Gardu Induk Padalarang.
2. Menerapkan pola proteksi *non-cascade* protokol *goose message* IEC 61850.
3. Gangguan yang dibahas merupakan gangguan yang terjadi pada sisi penyulang.
4. Perhitungan arus hubung singkat merupakan hubung singkat 3 fasa dan antar fasa.
5. Perbandingan yang dilakukan merupakan perbandingan kinerja antara pola *cascade* dan *non-cascade* dengan kondisi penyulang *fail trip*.
6. Studi kasus yang digunakan merupakan gangguan yang terjadi pada tanggal 11 Agustus 2023.

1.6 Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.2.



Gambar 1. 2 Kerangka berpikir.

1.7 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini memiliki sistematika penulisan dengan total enam bab, dimana setiap bab mempunyai isi dan penjabaran sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas mengenai latar belakang, penelitian terkait, rumusan masalah, tujuan dan manfaat, batasan masalah, kerangka berpikir hingga sistematika penulisan. Yang mana hal tersebut menjadi awal untuk menentukan judul penelitian.

BAB II TEORI DASAR

Bab ini membahas mengenai teori dasar yang mendasari penelitian ini dari beberapa jurnal ataupun buku. Teori dasar yang digunakan mulai dari sistem tenaga listrik, gangguan sistem tenaga listrik, relai proteksi, zona kerja relai, sistem koordinasi proteksi, dan tahapan *setting* relai.

BAB III METODOLOGI DAN JADWAL PENELITIAN

Bab ini membahas mengenai proses atau tahapan dari penelitian yang diilustrasikan dalam bentuk diagram alir penelitian mulai dari studi literatur, pengumpulan data, hingga hasil yang diinginkan.

BAB IV PERANCANGAN

Bab ini membahas mengenai proses *setting* relai, dimulai dari perhitungan impedansi penyulang, impedansi total, perhitungan arus hubung singkat, lalu perhitungan *setting* relai.

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas hasil dari perhitungan arus hubung singkat, *setting* relai, waktu kerja relai, kinerja relai, hasil uji pola *non-cascade* dan perbandingan kinerja relai antara pola *cascade* dan pola *non-cascade*.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menjelaskan kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan serta saran yang untuk penelitian-penelitian selanjutnya.