

STUDI KOORDINASI SISTEM PROTEKSI PADA TRANSFORMATOR 20KV DI JARINGAN DISTRIBUSI 20KV PENYULANG BANDILAN

Geddy Rizky Iriando

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail : geddyiriando@mhs.unesa.ac.id

Achmad Imam Agung

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail : achmadimam@unesa.ac.id

Abstrak

Energi listrik menjadi kebutuhan pokok bagi kehidupan manusia dalam berbagai rutinitas dan kegiatan. Kebutuhan pokok pada kehidupan manusia akan energi listrik membutuhkan sebuah keandalan sistem yang baik. Untuk mendapatkan keandalan sistem yang baik, diperlukan menjaga kriteria dalam sistem tenaga listrik. Keandalan suatu sistem tenaga listrik yang baik berkaitan dengan kualitas dan kontinuitas. Sistem pengaman atau proteksi bertujuan untuk mengamankan sistem tenaga listrik dari gangguan listrik dengan cara memisahkan bagian sistem tenaga listrik yang terganggu dengan sistem tenaga listrik yang tidak terganggu agar sistem tenaga listrik yang tidak terganggu dapat terus bekerja. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui kinerja dari sistem koordinasi proteksi pada penyulang Bandilan, lalu juga menganalisis penyebaran dan dampak gangguan dari perbandingan perhitungan secara manual dan simulasi menggunakan *software* ETAP. Penelitian ini menggunakan metode penelitian studi literatur berdasarkan himpunan data dari berbagai macam sumber yaitu jurnal, buku, internet dan pustaka menggunakan pendekatan kuantitatif. *Software* yang digunakan dalam penelitian menggunakan ETAP 12.6. Hasil penelitian menunjukkan transformator 50 kVA memiliki waktu *setting* rele sebesar 7,027 detik, *time reset* sebesar 7, 2 detik, arus yang melewati rele sebesar 1,1047 Ampere dan hasil simulasi dari *software* ETAP sebesar 1,363 Ampere.

Kata Kunci: Energi listrik, Sistem Proteksi, Distribusi Listrik, ETAP, Gangguan.

Abstract

Electrical energy is a basic requirement for human life in various routines and activities. The basic needs of human life for electrical energy require good system reliability. To get good system reliability, it is necessary to maintain criteria in the electric power system. The reliability of a good electric power system is related to quality and continuity. A security or protection system aims to secure the electric power system from electrical disturbances by separating the part of the electrical power system that is disrupted by an electric power system that is not disturbed so that the uninterrupted power system can continue to work. The purpose of this study is to determine the performance of the protection coordination system on Bandilan feeders, then also analyze the spread and impact of interference from comparisons of manual calculations and simulations using ETAP software. This study uses a literature study research method based on a collection of data from various sources, namely journals, books, internet and literature using a quantitative approach. Software used in research uses ETAP 12.6. The results showed that the 50 kVA transformer has a relay setting time of 7.027 seconds, a reset time of 7, 2 seconds, a current passing through a relay of 1.1047 Ampere and the simulation results of ETAP software of 1.363 Ampere.

Keywords: Electrical energy, protection systems, electricity distribution, ETAP, interference

PENDAHULUAN

Energi listrik menjadi kebutuhan pokok bagi kehidupan manusia dikarenakan berbagai rutinitas dan kegiatan yang dilakukan manusia sehari – hari tidak jauh dari barang elektronik yang membutuhkan energi listrik.

Kebutuhan pokok pada kehidupan manusia akan energi listrik membutuhkan sebuah keandalan sistem yang baik. Untuk mendapatkan keandalan sistem yang baik, diperlukan menjaga kriteria dalam sistem tenaga listrik tersebut.

Keandalan suatu sistem tenaga listrik yang baik berkaitan dengan kualitas dan kontinuitas. Dalam hal ini kriteria yang kontinuitas merupakan ketersediaan energi listrik yang terus menerus selalu ada dalam penyaluran dayanya. Untuk mendapatkan kontinuitas dibutuhkan sistem pengamanan yang baik pada sistem penyaluran energi listrik.

Sistem pengamanan atau proteksi adalah mengamankan sistem tenaga listrik dari gangguan listrik, dengan cara memisahkan bagian sistem tenaga listrik yang terganggu dengan sistem tenaga listrik yang tidak terganggu, agar sistem tenaga listrik yang tidak terganggu dapat terus bekerja. Pada dasarnya pengamanan sistem tenaga listrik mengamankan seluruh sistem tenaga listrik, supaya mendapatkan keandalan.

Koordinasi sistem proteksi adalah sistem yang melibatkan antar alat proteksi untuk mengamankan sebuah jaringan distribusi listrik. Keandalan sistem tenaga listrik didapatkan melalui koordinasi proteksi pada sistem pengamanan. Koordinasi sistem proteksi melibatkan dua atau lebih dari alat proteksi, seperti *fuse link*, *NH fuse*, *Arrester*. Dalam penelitian ini alat proteksi yang digunakan adalah *fuse link*, *NH Fuse* dan *Arrester* pada sistem jaringan distribusi (Sarimun, 2012).

KAJIAN PUSTAKA

Pengertian Distribusi Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik adalah suatu sistem yang membangkitkan, mengatur, menyalurkan, mendistribusikan dan akhirnya menggunakan dan memanfaatkan tenaga listrik. Secara umum sistem ketenagalistrikan terdiri dari lima sistem utama yaitu pembangkit listrik, sistem transmisi, gardu induk, sistem distribusi dan beban. Diagram segaris dari sistem ketenagalistrikan secara umum dapat dilihat pada Gambar 1.

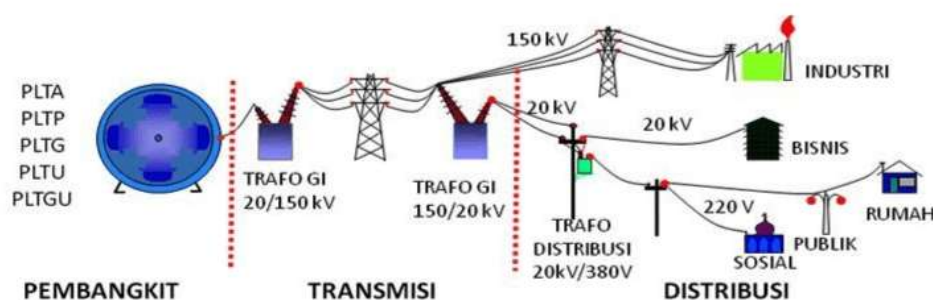
Dapat dilihat pada Gambar 1 suatu sistem tenaga listrik dari pembangkit sampai konsumen atau beban. Tenaga listrik yang dihasilkan oleh Generator unit pembangkit sebelum disalurkan melalui jaringan tegangan tinggi atau transmisi dinaikkan tegangannya di transformator unit pembangkit biasa disebut transformator *step up* yang menjadi 500 kV yang berada sub transmisi di Gardu Hubung adalah 150 kV atau 70 kV. Dari sistem transmisi diturunkan lagi di Gardu Induk menjadi tegangan distribusi primer 20 kV atau jaringan tegangan menengah. Untuk dapat didistribusikan langsung kepada konsumen, jaringan tegangan menengah ini kembali diturunkan menjadi tegangan rendah 380V/220V pada jaringan distribusi atau jaringan tegangan rendah dan dibatasi alat pengukur dan pemutus.

Sistem tenaga listrik adalah untuk mendistribusikan energi listrik ke berbagai titik beban. Sistem tenaga listrik harus didesain dan dikelola sehingga dapat mendistribusikan energi listrik dengan tingkat ketersediaan yang tinggi dan ekonomis (Yudha, 2008).

Sistem Proteksi Tenaga Listrik

Dalam penyaluran energi listrik suatu sistem tenaga listrik tidak dapat lepas dari gangguan. Gangguan tersebut jika tidak diatasi dapat membahayakan sistem tenaga listrik secara keseluruhan. Untuk menghindari hal tersebut dalam sistem tenaga listrik diperlukan sistem proteksi yang dapat meminimalisasi efek dari gangguan tersebut.

Fungsi dari sistem proteksi adalah untuk mengidentifikasi gangguan dan memisahkan bagian sistem yang terganggu dari bagian lain yang masih normal (tidak terganggu) serta sekaligus mengamankan bagian yang masih normal tersebut dari kerusakan. Dalam mengamankan sistem dari gangguan sistem proteksi harus dapat mengidentifikasi dan memisahkan bagian yang terganggu secepat mungkin (Sulasno, 2001).



Gambar 1 Sistem Ketenagalistrikan
(Sumber : <https://www.warriornux.com>, 2016)

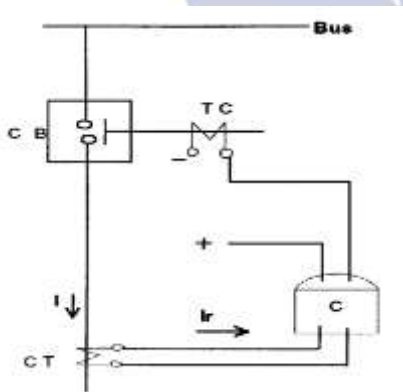
Rele Proteksi

Rele proteksi atau yang juga disebut sebagai rele pengaman adalah salah satu komponen penting yang digunakan dalam sistem proteksi atau sistem pengaman jaringan, dan digunakan untuk mengirimkan sinyal kepada pemutus (*circuit breaker*) supaya dapat membuat keputusan untuk membuka atau menutup jaringan. Fungsi utama dari rele ini adalah ketika terjadi gangguan pada sistem maka peralatan sensing pada rele ini bertugas untuk mendeteksi adanya kondisi yang tidak normal pada sistem tenaga listrik dan selanjutnya mengirimkan sinyal ke pemutus (*circuit breaker*) untuk memutuskan jaringan yang sedang mengalami gangguan (Rangga Albertus, 2010).

Rele Arus Lebih

Rele arus lebih adalah sebuah jenis rele proteksi yang bekerja berdasarkan prinsip besarnya arus input yang masuk ke dalam peralatan sensing rele. Apabila besaran arus yang masuk melebihi harga arus yang telah disetting (I_p) sebagai standart kerja rele tersebut, maka rele arus ini akan bekerja dan memberikan perintah pada CB untuk memutuskan sistem.

Rele arus lebih adalah rele yang bekerja berdasarkan arus lebih akibat adanya gangguan yang terjadi pada sistem akibat adanya gangguan hubung singkat atau adanya beban lebih (*overload*). Setelah mendeteksi adanya gangguan maka rele ini akan memberikan sinyal pada pemutus untuk memutuskan saluran sesuai dengan karakteristik waktu yang telah ditentukan.



Gambar 2 Rangkaian Rele Arus Lebih.
(Sumber : Albertus, 2010)

Keterangan :

CB : *Circuit Breaker*

TC : *Trip Coil CB*

I : Arus yang mengalir pada saluran yang diamankan

CT : *Transformator Arus*

I_r : Arus yang mengalir pada rele

C : Rele Arus lebih

I_p : Arus *Pick-up* dari rele

Rele arus lebih dengan karakteristik waktu terbalik (*Inverse Time Over Current Relay*)

Rele dengan karakteristik waktu terbalik adalah jika jangka waktu mulai rele arus *pick up* sampai selesainya kerja diperpanjang dengan besarnya nilai yang berbanding terbalik dengan arus yang menggerakkan. Rele ini bekerja dengan waktu operasi berbanding terbalik terhadap besarnya arus yang terukur oleh rele. Rele ini mempunyai karakteristik kerja yang dipengaruhi baik oleh waktu maupun arus (Sarimun, 2012).

Fuse Link

Fuse Link adalah kawat pemutus sejenis sekering yang digunakan untuk pemutus Jaringan Tegangan Menengah (JTM). *Fuse Link* dipasang pada tabung CO (*cut out*) yang berfungsi sebagai pemutus jika ada arus yang melebihi kapasitas ukuran *fuse link* (Sarimun, 2012).



Gambar 3 *Fuse Link*
(Sumber : Sarimun, 2012)

NH Fuse

Enhancement (NH) Fuse adalah pengaman yang diletakkan pada jarak tegangan rendah (*Switch Board*) yang lokasinya di gardu distribusi. Singkatan dari use ini adalah N=*Nieder Spannung* = Tegangan Rendah. H = *Hoch Leistung* = arus besar. Maksudnya *fuse* ini digunakan untuk arus besar dengan tegangan maksimum 1000 volt (Sarimun, 2012).

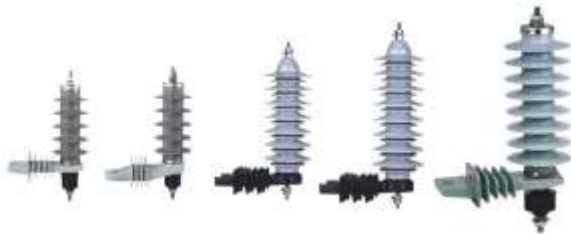


Gambar 4 *NH Fuse*
(Sumber : Sarimun, 2012)

Arrester

Arrester adalah alat pelindung bagi peralatan sistem surja petir dan tegangan abnormal frekuensi jala – jala. *Arrester* berlaku sebagai jalan pintas (*by pass*) sekitar

isolasi. *Arrester* membentuk jalan yang mudah dilalui oleh arus kilat atau petir, sehingga tidak timbul tegangan lebih pada peralatan. Jalan pintas harus sedemikian rupa sehingga tidak mengganggu aliran daya sistem. Jadi pada keadaan normal *arrester* berlaku sebagai isolator dan bila timbul surja petir berlaku sebagai konduktor, jadi melewati arus yang tinggi. Setelah surja hilang *arrester* harus dapat dengan cepat kembali menjadi isolator. Gambar *Arrester* dapat dilihat pada gambar 5 (Sarimun, 2012).



Gambar 5 Arrester
(Sumber : Sarimun, 2012)

Koordinasi Proteksi pada Jaringan Distribusi 20 kV

Koordinasi sistem proteksi adalah sistem yang melibatkan antar alat alat proteksi untuk mengamankan jaringan di sistem tenaga listrik. Keandalan sistem tenaga listrik didapatkan melalui koordinasi proteksi pada sistem pengaman. Dalam penelitian ini alat proteksi yang digunakan untuk koordinasi sistem proteksi melibatkan dua atau lebih dari alat proteksi, seperti *fuse link*, *NH fuse*, *Arrester*.

Rele arus lebih terpasang pada Gardu Induk atau pusat listrik dengan tegangan 20.000 Volt, sebagai proteksi. Bila gangguan tidak diamankan dengan baik, dapat mentripkan pengaman listrik di *Incoming feeder*, sehingga pemadaman listrik dapat meluas yang disebut *blackout*. Untuk mengamankannya diperlukan koordinasi proteksi yang terpasang baik di *incoming feeder*, *outgoing feeder*, dan pengaman yang terpasang di jaringan 20kV (Sarimun, 2012).

Gangguan Sistem Tenaga Listrik

Gangguan merupakan keadaan menyimpang atau tidaknormalan dari suatu sistem. Gangguan dalam sistem tenaga listrik merupakan kejadian yang menyebabkan *relay* dan pemutus tenaga *trip* diluar kehendak operator, sehingga mengakibatkan putusnya aliran daya yang melalui pemutus tersebut. Untuk bagian sistem yang diamankan dengan sekring, gangguan terjadi akibat putusnya sekring. Gangguan dapat mengakibatkan kerusakan pada sistem tenaga listrik (Marsudi, 2006).

Gangguan Hubung Singkat (*Short Circuit Fault*)

Di Penelitian ini menitikberatkan pada gangguan hubung singkat. Hubung singkat merupakan salah satu gangguan sistem tenaga listrik yang mempunyai karakteristik transient yang harus dapat diatasi oleh peralatan pengaman. Hubung singkat terjadi akibat hubungan penghantar bertegangan atau penghantar tidak bertegangan secara langsung tidak melalui media (resistor/beban) yang semestinya sehingga terjadi aliran arus yang tidak normal (sangat besar). Dalam mencapai keadaan gangguan ini, tidak jarang di berbagai titik pada jaringan sengaja dibuat gangguan. Besarnya arus gangguan ini dapat digunakan sebagai acuan dalam menentukan berapa setting arus yang sebaiknya digunakan untuk proteksi serta rating-rating CB yang diperlukan.

Electric Transient and Analysis Program (ETAP)

ETAP dapat digunakan untuk membuat proyek sistem tenaga listrik dalam bentuk diagram satu garis (*one line diagram*) dan jalur sistem pentanahan untuk berbagai bentuk analisis, yaitu aliran daya, hubung singkat, *starting motor*, *transient stability*, koordinasi rele proteksi dan sistem harmonisa. Proyek sistem tenaga listrik memiliki masing-masing elemen rangkaian yang dapat diedit langsung dari diagram satu garis atau jalur sistem pentanahan.

ETAP digunakan dalam penelitian ini sebagai aplikasi penunjang untuk menganalisa gangguan serta koordinasi proteksi sistem tenaga listrik di Penyulang Bandilan. Tipe ETAP yang digunakan adalah ETAP 12.6. Data data penelitian ini yang akan digunakan dalam ETAP seperti data saluran, data spesifikasi transformator serta data gangguan dan beban dari Penyulang Bandilan, kemudian memasukkan data data tersebut sebagai variabel serta parameter simulasi. Untuk kemudahan hasil perhitungan analisis dapat ditampilkan pada diagram satu garis. ETAP *Power Station* memungkinkan untuk bekerja secara langsung dengan tampilan gambar *single line diagram* (Yudha, 2008).

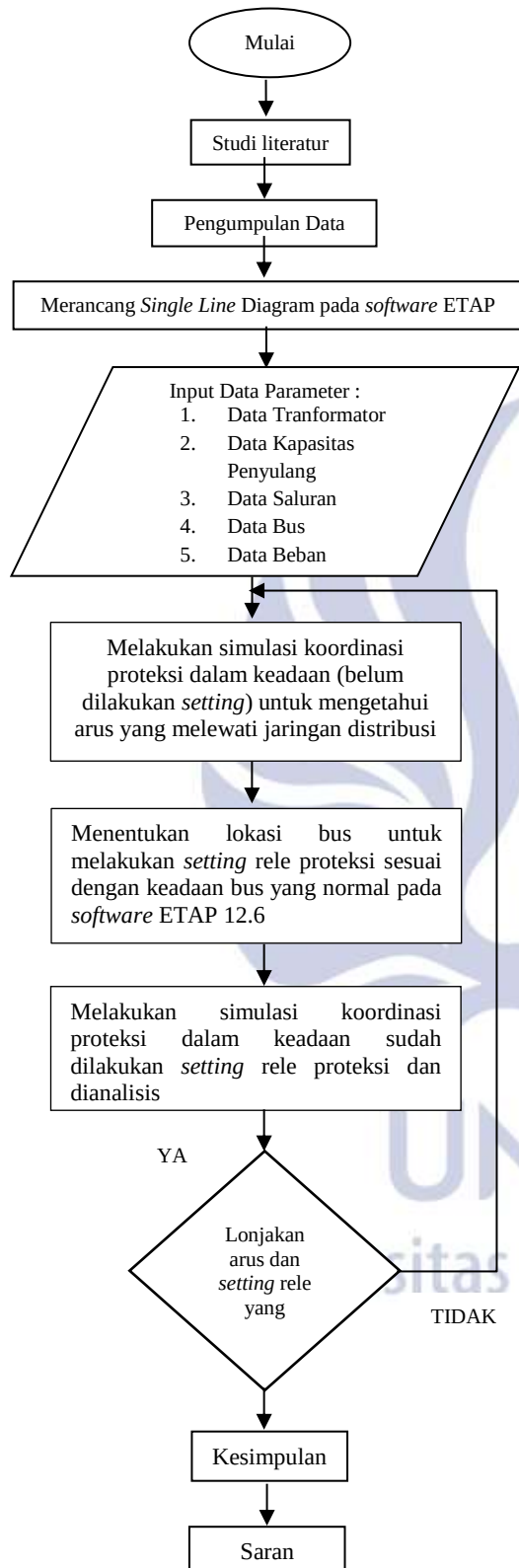
Metode Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan metode penelitian studi literatur. Metode ini berdasarkan himpunan data data dari berbagai macam sumber yaitu jurnal, buku, internet dan pustaka. Dalam penelitian ini banyak menggunakan angka, mulai dari pengumpulan data hingga hasil yang didapatkan oleh karena itu, menggunakan pendekatan kuantitatif.

Penelitian ini menggunakan data data seperti *single line diagram*, spesifikasi saluran, data spesifikasi transformator, data gangguan dan data beban.

Data data tersebut kemudian disimulasikan dengan menggunakan *software* ETAP 12.6. Kemudian hasil simulasi tersebut dianalisa untuk mengetahui sistem

proteksi sesuai standart dalam mengatasi gangguan yang terjadi di lapangan.



Gambar 6 Diagram Alir
(Sumber : Data Penelitian, 2019)

Deskripsi Data

Pada skripsi ini akan dilakukan simulasi koordinasi sistem proteksi pada jaringan distribusi 20 kV di penyulang Bandilan yang merupakan implementasi dari PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur Area Surabaya Selatan. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah *single line* diagram, kapasitas transformator dan beban listrik. Berikut merupakan data-data yang akan digunakan dalam membantu analisis pada simulasi diantaranya.

1. *Single line* diagram penyulang Bandilan PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur Area Surabaya Selatan.
2. Data transformator pada penyulang Bandilan PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur Area Surabaya Selatan.
3. Data beban pada penyulang Bandilan PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur Area Surabaya Selatan.

Hasil Penelitian

- a. Kinerja dari koordinasi proteksi pada transformator 20kV di jaringan distribusi 20kV penyulang Bandilan.

Kinerja dari koordinasi proteksi pada transformator 20kV di jaringan distribusi penyulang Bandilan ketika terjadi gangguan pada salah satu transformator tertentu, imbasnya yang ditimbulkan yaitu terjadi lonjakan arus di CB sekitaran transformator yang terjadi gangguan.

- b. Kinerja koordinasi sistem proteksi setelah dilakukan *setting* rele.

Kinerja koordinasi sistem proteksi setelah dilakukan *setting* rele, maka imbas dari gangguan dapat diminimalisir, *setting* rele dilakukan setelah melakukan data *sampling*, perhitungan manual, simulasi menggunakan software ETAP kemudian membandingkan hasil keduanya. Berikut data *sampling* dan perhitungan transformator di jaringan distribusi Penyulang Bandilan.

Data yang akan dianalisis pada penyulang Bandilan terdiri dari 41 Transformator akan tetapi banyak transformator yang mempunyai kapasitas yang sama, maka dari itu pemilihan data data dilakukan dengan metode *sampling* sehingga hanya 5 transformator yang akan dilakukan analisis data dengan kapasitas yang berbeda, pemilihan tersebut dilakukan dengan data yang dibutuhkan dan mengacu pada pengukuran di lapangan di PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur Area Surabaya Selatan.

Gangguan yang digunakan pada penelitian ini adalah gangguan arus lebih yang disebabkan arus hubung singkat. Rele proteksi yang digunakan pada skripsi ini adalah rele arus lebih atau *Over Current Relay*. Rele ini bekerja dengan membaca *input* berupa

besaran arus kemudian membandingkan dengan nilai *setting*, apabila nilai arus yang terbaca oleh rele melebihi nilai *setting*, maka rele akan mengirim perintah *trip* (lepas) kepada Pemutus Tenaga (PMT) atau *Circuit Breaker* (CB) setelah tunda waktu yang diterapkan pada *setting*.

Jenis *Over Current Relay* yang dipilih adalah Rele arus lebih dengan karakteristik waktu terbalik (*Inverse Time Over Current Relay*). Rele dengan karakteristik waktu terbalik adalah jika jangka waktu mulai rele arus *pick up* sampai selesainya kerja diperpanjang dengan besarnya nilai yang berbanding terbalik dengan arus yang menggerakkan. Rele ini bekerja dengan waktu operasi berbanding terbalik terhadap besarnya arus yang terukur oleh rele. Rele ini mempunyai karakteristik kerja yang dipengaruhi baik oleh waktu maupun arus. Digunakannya *inverse time over current relay* ini dinilai cocok dengan karakteristik penyulang Bandilan.

Waktu kerja rele OCR tergantung *setting* dan karakteristik waktu rele. Elemen tunda waktu rele ini ada 2, yaitu elemen *low set* dan *high set*. Elemen *low set* ini bekerja ketika terjadi gangguan arus hubung singkat relatif kecil. Sedangkan elemen *high set* bekerja ketika terjadi gangguan arus hubung singkat relatif besar. Rele harus disetting sedemikian rupa sehingga dapat bekerja dengan baik dan cepat serta dapat meminimalkan bagian dari sistem yang harus padam. Hal ini diterapkan dengan mengatur waktu kerja rele agar bekerja lambat ketika ada arus gangguan kecil dan bekerja cepat ketika terjadi arus gangguan besar.

Di penyulang Bandilan terdapat 5 jenis kapasitas transformator, yaitu Transformator BE 962 dengan kapasitas 200 kVA alamatnya di Jalan Brigjen Katamso IV, Transformator BE 1818 dengan kapasitas 100 kVA alamatnya di Jalan Dewi Sartika Barat 1, Transformator BE 313 dengan kapasitas 160 kVA alamatnya di Jalan Dewi Sartika Timur Gang 2, Transformator BE 312 dengan kapasitas 250 kVA alamatnya di Jalan Raya Makarya Binangun, Transformator BE 1192 dengan kapasitas 50 kVA alamatnya di Ruko Waru Centra.

Transformator dengan kapasitas 50 kVA

$$I_n (SP) = \frac{KT}{\sqrt{3} \cdot SP} \quad (1)$$

$$I_n (SS) = \frac{KT \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot SS} \quad (2)$$

Keterangan :

I_n = nilai nominal (ampere)

SP = Sisi Primer Transformator (kVa)

SS = Sisi Sekunder (kVa)

KT = Kapasitas Transformator (kVa)

Untuk menghitung arus nominal pada transformator menggunakan persamaan (1) dan persamaan (2) sehingga didapatkan hasil untuk sisi primer transformator dengan kapasitas 50KV adalah 1,44 A dan untuk sisi sekundernya 75,97 A.

$$Setting Relay Is = \frac{K_{fk}}{K_d} \cdot I_n \quad (3)$$

$$I (SP) = \frac{K_{fk}}{K_d} \times I_n \quad (4)$$

$$I (SS) = \frac{K_{fk}}{K_d} \times I_n \quad (5)$$

Keterangan :

I_s = arus *setting* (Ampere)

K_{fk} = konstanta

K_d = konstanta

Untuk menghitung arus yang melewati *relay* pada transformator menggunakan persamaan (3) untuk sisi primer menggunakan persamaan (4) dan persamaan (5) untuk sisi sekundernya. Sehingga didapatkan hasil untuk sisi primernya 1,1047 A dan untuk sisi sekundernya 3,97 A arus yang melewati *relay*.

Penyetelan arus pada rele arus lebih pada umumnya didasarkan pada penyetelan batas minimumnya, dengan demikian adanya gangguan hubung singkat di beberapa seksi berikutnya, *relay* arusnya akan bekerja. Untuk mendapatkan pengamanan yang selektif, maka penyetelan waktunya dibuat secara bertingkat. Selain hal itu persyaratan lain yang harus dipenuhi adalah bahwa pengamanan sistem secara keseluruhan harus masih bekerja secepat mungkin, akan tetapi masih selektif.

Koordinasi proteksi pada penyulang Bandilan melibatkan beberapa alat proteksi pada sistemnya. Seperti rele arus lebih, *nh fuse* dan *fuse link*. Yang dimaksud dari koordinasi proteksi yaitu keterkaitan atau keterhubungan alat proteksi satu dengan lainnya, semisal alat proteksi pertama tidak dapat mengatasi gangguan maka alat proteksi kedua akan bekerja untuk mengatasi gangguan dalam sistem tersebut.

Perhitungan Manual

Dalam skripsi ini dilakukan pembahasan sistem proteksi sistem jaringan distribusi 20 kV pada Penyulang Bandilan yang menggunakan OCR. Analisis pembahasannya dilakukan pada 5 transformator dengan kapasitas yang berbeda - beda menggunakan perhitungan manual. Berikut perhitungan manualnya di bawah ini.

$$T = TDM \times \left[\frac{A}{\left(\frac{I}{I_{pickup}} \right)^p - 1} + B \right] \quad (6)$$

$$T_{Reset} = TDM \times \left[\frac{tr}{\left(\frac{I}{I_{pickup}} \right)^2 - 1} \right] \quad (7)$$

Keterangan :

T = operate time (in seconds)

TDM = Multiplier setting (in seconds)

I = input current (in Ampere)

I_{pickup} = Pickup Current setting (in Ampere)

A, B, p = constant

T_{Reset} = reset time in seconds (assuming energy capacity is 100% and Reset is "Timed").

Untuk menghitung waktu operasi bekerjanya Relay menggunakan persamaan (6) sehingga didapatkan hasil 7,027 detik. Dan untuk menghitung waktu resetnya menggunakan persamaan (7) sehingga didapatkan hasil 7,2 detik.

Hasil Simulasi ETAP

Dalam skripsi ini digunakan *software* ETAP untuk pemodelan dan mensimulasikan koordinasi sistem proteksi pada jaringan distribusi penyulang Bandilan. Berikut hasil dari simulasi ETAP :

Hasil Perbandingan Perhitungan Manual dan Simulasi ETAP.

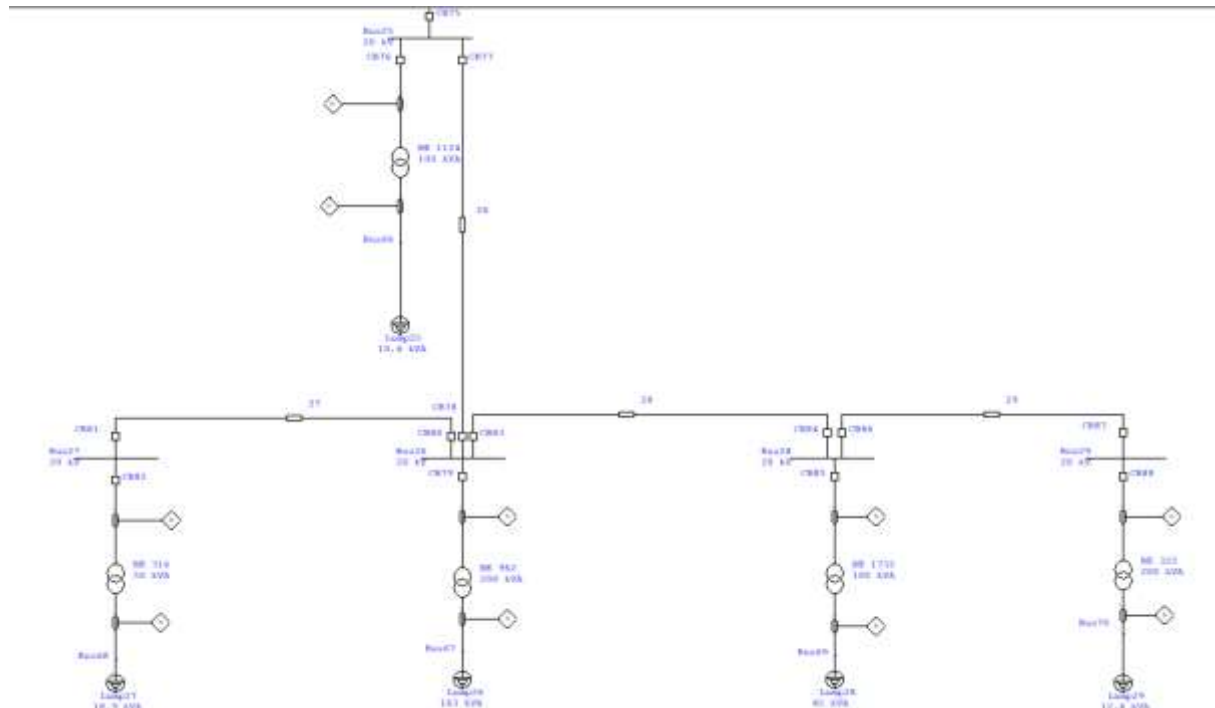
Dalam skripsi ini dilakukan analisis dan perbandingan dari hasil perhitungan manual dan simulasi ETAP, hasil lonjakan arus antara perhitungan manual dengan hasil simulasi tidak jauh berbeda. Berikut hasilnya.

Tabel 1 Hasil Perbandingan Perhitungan Manual dan Simulasi ETAP

No	Kapasitas Transformator (kVA)	Perhitungan Manual			Simulasi ETAP Arcing Current (A)
		T (s)	T. Reset (s)	Arus Yang melewati Rele (A)	
1.	50	7,027	7,2	1,1047	1,363
2.	100	7,027	7,2	1,2101	1,360
3.	160	7,027	7,2	1,336	1,361
4.	200	7,027	7,2	1,42	1,337
5.	250	7,027	7,2	1,525	1,396

(Sumber : Data Penelitian, 2019)

Dari Tabel 1 Hasil Perbandingan Perhitungan Manual dan Simulasi ETAP dapat dilihat bahwasannya untuk transformator 50 kVA memiliki waktu *setting* rele sebesar 7,027 detik, *time reset* sebesar 7, 2 detik, arus yang melewati rele sebesar 1,1047 Ampere, dan



Gambar 6 Hasil Simulasi ETAP
(Sumber : Hasil Penelitian, 2019)

hasil simulasi dari *software* ETAP sebesar 1,363 Ampere. Yang dimaksud *time setting* adalah waktu yang dibutuhkan rele untuk bekerja atau mengirim perintah *trip* ketika terjadi lonjakan arus. Yang dimaksud dengan *time reset* adalah waktu pasca terjadinya *trip* untuk rele kembali ke kondisi awal. Untuk transformator 100 kVA memiliki waktu *setting* rele sebesar 7,027 detik, *time reset* sebesar 7, 2 detik, arus yang melewati rele sebesar 1,2101 Ampere, dan hasil simulasi dari *software* ETAP sebesar 1,360 Ampere. Untuk transformator 160 kVA memiliki waktu *setting* rele sebesar 7,027 detik, *time reset* sebesar 7, 2 detik, arus yang melewati rele sebesar 1,336 Ampere, dan hasil simulasi dari *software* ETAP sebesar 1,361 Ampere. Untuk transformator 200 kVA memiliki waktu *setting* rele sebesar 7,027 detik, *time reset* sebesar 7, 2 detik, arus yang melewati rele sebesar 1,42 Ampere, dan hasil simulasi dari *software* ETAP sebesar 1,337 Ampere. Untuk transformator 250 kVA memiliki waktu *setting* rele sebesar 7,027 detik, *time reset* sebesar 7, 2 detik, arus yang melewati rele sebesar 1,525 Ampere, dan hasil simulasi dari *software* ETAP sebesar 1,396 Ampere.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan pada *software* ETAP kinerja sistem proteksi pada jaringan distribusi di penyulang Bandilan memiliki penyebaran gangguan pada beberapa titik CB yaitu ketika terjadi gangguan pada CB 79 menimbulkan imbas gangguan terhadap beberapa titik CB antara lain CB 78, CB 77, CB 75, CB 74, CB 69, dan CB 68. Kinerjanya kurang baik karena menimbulkan imbas gangguan di CB sekitarnya.

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan di jaringan distribusi penyulang Bandilan dan melakukan perhitungan manual, *setting* rele serta simulasi yang dilakukan di *software* ETAP gangguan yang timbul di penyulang Bandilan mampu meminimalisir gangguan yang ada pada jaringan distribusi penyulang Bandilan sehingga keandalannya lebih baik. Dimana Hasil perhitungan manual serta dengan simulasi menggunakan *software* ETAP dari transformator dengan kapasitas 50kVA ini adalah 1,1047 A arus yang melewati rele pada perhitungan manual. Arus yang melewati rele sebesar 1,363 A pada simulasi menggunakan *software* ETAP dan dapat dilihat pada tabel 1. Dengan adanya selisih antara hasil perhitungan manual dengan perhitungan menggunakan simulasi dikarenakan adanya tingkat akurasi alat atau *software* yang berbeda, faktor alam, *human error* dan lain sebagainya.

Saran

Setelah melalui serangkaian penelitian baik di lapangan maupun secara perhitungan dapat dikemukakan beberapa saran sebagai berikut :

Agar kerja *relay* proteksi menjadi lebih optimal, dan keandalan sistem tetap terjaga maka perlu adanya koordinasi perhitungan nilai *setting* rele dengan LVCB di hilir (ujung penyulang).

Bila terjadi penambahan beban dan perluasan jaringan yang signifikan maka nilai *setting* rele agar disesuaikan dengan kondisi besar beban maksimum penyulang akibat penambahan beban.

DAFTAR PUSTAKA

- anonim. 2016. Pembagian Sistem Tenaga Listrik. <https://www.warriornux.com> diakses pada tanggal 5 Mei 2017 pukul 08.00 WIB.
- Marsudi, Djiteng. 2006. “Operasi Sistem Tenaga Listrik,” Institut Sains dan Teknologi Nasional Jakarta. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Patel, H A. 2015. *Relay Coordination Using ETAP. International Journal of Scientific & Engineering Research*, Vol. 6.
- Rangga Albertus, 2010. *Studi Koordinasi Rele Proteksi Pada Sistem Kelistrikan PT. Boc Gases Gresik Jawa Timur*. Jurnal Teknik Elektro ITS Vol 12.
- Sarimun N, Wahyudi 2012. Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik. Garamond. Depok.
- Sulasno, 2001. “Analisa Sistem Tenaga Listrik Edisi Kedua”, Badan Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang.
- Yudha, Hendra Marta. 2008. *Proteksi Rele: Prinsip dan Aplikasi*. Universitas Sriwijaya. Palembang.