



**KOORDINASI SETTING RELE PROTEKSI MENGGUNAKAN METODE
FUZZY LOGIC TERHADAP PENAMBAHAN DISTRIBUTED
GENERATION (DG) DAN KAPASITOR DAYA PADA JARINGAN
DISTRIBUSI RADIAL**

SKRIPSI

Oleh

**MOHAMMAD ARIS MUNANDAR
NIM 131910201050**

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO STRATA 1

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2017



**KOORDINASI SETTING RELE PROTEKSI MENGGUNAKAN METODE
FUZZY LOGIC TERHADAP PENAMBAHAN DISTRIBUTED
GENERATION (DG) DAN KAPASITOR DAYA PADA JARINGAN
DISTRIBUSI RADIAL**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi syarat – syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

**MOHAMMAD ARIS MUNANDAR
NIM 131910201050**

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO STRATA 1

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2017

PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur saya panjatkan kepada Allah SWT atas segala karunia-Nya hingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi ini merupakan langkah awal kesuksesan yang saya raih untuk mendekati masa depan dan meraih cita-cita di dalam hidup saya. Dengan penuh rasa syukur dengan ketulusan hati saya persembahkan karya ini kepada :

1. Kedua orang tua saya ayahanda Syaifuddin dan ibunda Massamah yang tercinta yang telah mendoakanku tiada henti.
2. Dosen Pembimbing Utama Bapak Syamsul Bahri dan Bapak Sumardi atas kesabaran dan keikhlasan dalam membimbing saya menyelesaikan skripsi ini;
3. Guru – guruku yang telah memberikan bekal dan ilmu selama ini;
4. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.

MOTTO

“Final Chance (skripsi), Jika Kemampuanmu Hanya 60%, Maka Ambil 80% Yang
Kau Sanggup”
(Pak De)

“Man Jadda Wajada”
(Negeri 5 Menara)

“Berilmu Amaliah, Beramal Ilmiah.”
(Ikatan Mahasiswa Muhammadiyah)

“Tepatilah, berani bermimpi ,berani mewujudkannya”
(Mohammad Aris M)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mohammad Aris Munandar

NIM : 131910201050

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa proyek akhir yang berjudul “KOORDINASI SETTING RELE PROTEKSI MENGGUNAKAN METODE FUZZY LOGIC TERHADAP PENAMBAHAN DISTRIBUTED GENERATION (DG) DAN KAPASITOR DAYA PADA JARINGAN DISTRIBUSI RADIAL” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan dalam institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 24 Oktober 2017

Yang menyatakan,

Mohammad Aris M
NIM 131910201050

SKRIPSI

**KOORDINASI SETTING RELE PROTEKSI MENGGUNAKAN METODE
FUZZY LOGIC TERHADAP PENAMBAHAN DISTRIBUTED
GENERATION (DG) DAN KAPASITOR DAYA PADA JARINGAN
DISTRIBUSI RADIAL**

Oleh
Mohammad Aris Munandar
NIM 131910201050

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Samsul Bachri.,ST.,MM.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Sumardi, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Koordinasi Setting Rele Proteksi Menggunakan Metode Fuzzy Logic Terhadap Penambahan Distributed Generation (DG) Dan Kapasitor Daya Pada Jaringan Distribusi Radial” karya Mohammad Aris Munandar NIM: 131910201050 telah diuji dan disahkan pada :

hari, : Senin
tanggal : 19 januari 2018
tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember.

Tim Penguji:

Ketua,

Anggota I,

H Samsul Bachri, S.T., M. M.T.
NIP. 19640317199802 1 001

Sumardi, S.T., M.T.
NIP. 19670113199802 1 001

Anggota II,

Anggota III,

H.R.B. Moch. Gozali, S.T., M.T.
NIP 19690608 199903 1 002

Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T.
NIP. 19700404 199601 1 001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah M.U.M
NIP. 19661215 199503 2 001

KOORDINASI SETTING RELE PROTEKSI MENGGUNAKAN METODE FUZZY LOGIC TERHADAP PENAMBAHAN DISTRIBUTED GENERATION (DG) DAN KAPASITOR DAYA PADA JARINGAN DISTRIBUSI RADIAL

Mohammad Aris Munandar

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRAK

Distributed generation (DG) dan kapasitor daya dalam pemasangan di jaringan distribusi bertujuan untuk mengurangi drop tegangan dan rugi rugi daya yang di akibatkan dari impedansi saluran dan berkembangnya beban. Dalam penerapannya penambahan DG dan kapasitor daya dapat meningkatkan nilai gangguan hubung sigkat dan akhirnya menyebabkan miskordinasi sistem proteksi. Pada penelitian ini menggunakan jaringan penyulang watu ulo 75 bus sebagai jaringan distribusi radial uji dengan kordinasi proteksi antar *over current relay* (ocr). Penelitian ini digunakan metode fuzzy logic untuk menyelesaikan masalah kordinasi rele dengan adanya penambahan DG dan kapasitor daya. Performasi dari mettode fuzzy di bandingkan dengan meode konvensional. Proses optimalisasi dilakukan dengan mengatur nilai IP dan TMS pada tiap relay yang dikordinasikan. Berdasarkan hasil analisis dan pengujian , metode fuzzy mampu menghasilkan nilai setting kordinasi yang optimal di bandingakn dengan metode konvensional, di buktikan dengan tidak adanya kurva relay yang miskordinasi

Kata kunci: Relay arus lebih, *Distributed Generation* (DG), Kapasitor, fuzzy logic

COORDINATION SETTING RELE PROTECTION USING FUZZY LOGIC METHOD ON ADDITIONAL DISTRIBUTED GENERATION (DG) AND POWER CAPACITOR ON RADIAL DISTRIBUTION NETWORKS

Mohammad Aris Munandar

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember

ABSTRACT

Distributed generation (DG) and power capacitors in the installation of the distribution network aims to reduce the voltage drop and loss of power resulting from channel impedance and expansion of load. In its application, the addition of DG and power capacitors can increase the value of the sigkat connector noise and eventually lead to the miscreation of the protection system. In this study using feeder of watu ulu 75 bus standard network as a network of radial distribution test with coordination of protection between over current relay (ocr). This research used fuzzy logic method to solve the coordination of rele problem with the addition of DG and power capacitor. Performations of the fuzzy method in compare with conventional meode. The process of optimization is done by setting nulai IP and TMS on each relay that is coordinated. Based on the results of analysis and testing, fuzzy method is able to produce optimal coordinate setting value in comparison with conventional method, proved by the absence of relay curve which is miscordination.

Keywords: *over current relay, Distributed Generation (DG), Capacitor, fuzzy logic*

RINGKASAN

“KOORDINASI SETTING RELE PROTEKSI MENGGUNAKAN METODE FUZZY LOGIC TERHADAP PENAMBAHAN DISTRIBUTED GENERATION (DG) DAN KAPASITOR DAYA PADA JARINGAN DISTRIBUSI RADIAL”; Mohammad Aris Munandar 131910201050; 2017: 80 halaman; Program Studi Strata 1 (S1) Teknik, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Jember.

Energi listrik merupakan suatu bentuk energi yang memiliki peran sangat vital dalam aktivitas keseharian manusia. Setiap tahun terjadi peningkatan kebutuhan energi yang signifikan dan menuntut pihak penyedia tenaga listrik untuk memberikan *supply* tenaga yang cukup dan berkualitas. Penggunaan energi listrik di Indonesia dapat dikatakan sebagai salah satu kebutuhan pokok untuk untuk saat ini, hal ini didukung dengan kemajuan teknologi yang sebagian besar menggunakan energi listrik sebagai sumber utamanya. Pertambahan beban di suatu wilayah merupakan masalah bagi penyedia listrik, karena selain daya yang disalurkan harus ditambah, akan terjadi *drop* tegangan yang besar pula disepanjang saluran transmisi maupun distribusi. Untuk penelitian yang selanjutnya akan dilakukan percobaan penambahan DG dan kapasitor pada jaringan distribusi radial. Beberapa penelitian mengenai penempatan kapasitor pada jaringan distribusi dengan penempatan lokasi yang tepat akan mengurangi rugi-rugi daya dan *drop* tegangan pada sistem. Biasanya dalam memperbaiki rugi-rugi daya dan tegangan hanya menggunakan pengaruh dari daya aktif tanpa menganalisis pengaruh dari adanya daya reaktif.

Pemasangan DG bisa menyebabkan permasalahan pada jaringan distribusi. Penambahan DG pada jaringan distribusi bisa mengakibatkan peningkatan level arus gangguan pada sistem yang pada akhirnya juga bisa mengakibatkan miskoordinasi diantara peralatan-peralatan proteksi pada jaringan distribusi. Oleh karena itu diperlukan sistem proteksi yang baik dan mampu mengantisipasi gangguan untuk menjaga stabilitas sistem serta menghindarkan dari kerusakan pada peralatan akibat arus gangguan yang mengalir. Koordinasi sistem proteksi menjadi salah satu hal yang berperan sangat penting untuk menjamin keandalan

sistem proteksi dalam mengantisipasi gangguan. Sistem proteksi yang diimplementasikan pada sistem diperlukan perhitungan dan analisa setting rele proteksi untuk mendapatkan koordinasi yang tepat. Apabila terjadi gangguan seperti hubung singkat maka seminimal mungkin sistem yang lain tidak terganggu. *Over current relay* (ocr) merupakan solusi rele yang digunakan untuk mengatasi arus lebih pada sistem. Prinsip kerjanya berdasarkan beban arus yang telah di tetapkan (*setting*) apabila arus yang mengalir pada sistem melebihi yang telah di tetapkan, maka rele akan memerintahkan *circuit breaker* untuk membuka.

Pada tugas akhir ini membahas kordinasi setting proteksi rele proteksi terhadap adanya pemasangan DG dan kapasitor daya pada jaringan distribusi menggunakan metode fuzzy. Metode ini diharapkan akan memperoleh solusi keluaran optimal untuk koordinasi rele proteksi pada penambahan DG dan kapasitor pada jaringan distribusi sistem radial dengan tetap memperhatikan batasan batasan dalam sistem yang digunakan.

PRAKATA

Bismillahirrohmanirohim.

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Koordinasi Setting Rele Proteksi Menggunakan Metode *Fuzzy Logic* Terhadap Penambahan *Distributed Generation* (DG) Dan Kapasitor Daya Pada Jaringan Distribusi Radial”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program studi strata satu (S1) Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Selama penyusunan skripsi ini penulis mendapat bantuan dari berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua tercinta yang telah memberikan dorongan semangat, motivasi, dukungan dan doanya demi terselesaikannya proyek akhir ini.
2. Ibu Dr. Ir. Entin Hidyah M.UM, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
3. Bapak Dr. Ir. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember.
4. Bapak Dedy Kurnia Setiawan, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi S-1 Teknik Elektro Universitas Jember.
5. Bapak Samsul Bachri.,ST.,MM.T. selaku dosen pembimbing utama dan Bapak Sumardi, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, tenaga guna memberikan bimbingan dan pengarahan serta dukungan materi dalam kelancaran penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Suprihadi Prasetyono, S.T., M.M., selaku dosen penguji 1 dan Bapak Abdul Ghozali, S.T., M.T., selaku dosen penguji 2 yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun sehingga sangat membantu terhadap penyempurnaan skripsi ini.
7. Seluruh Dosen Teknik Elektro Universitas Jember yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan bimbingan selama mengikuti pendidikan di Universitas Jember;

8. Dwi Wahyu Cahyoningtias atas doa dan semangat yang tiada hentinya.
9. Keluarga besar Teknik Elektro khususnya angkatan 2013 (INTEL UNEJ), terimakasih atas dukungan dan motivasi yang kalian berikan.
10. Master Septian, Mas Doni Dan Mas Hasbul yang banyak memberikan inspirasi.
11. Mahmud squad, dan kontrakan secret IMM yang selalu menyemangati.
12. ALBE squad al jeng dan al sed yang selalu ada dalam keadaan apapun.
13. PELITA lovers, bindes, aisyah,lianti,ulfatu,Maryam,dina,catur,ayak,holis yang telah memberikan pengalaman berharga.
14. Ardian Puji Aprilianti yang selalu mendoakan.
15. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, terimakasih banyak yang mana telah mendukung dan memberikan semangat dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa kesempurnaan hanya milik-Nya sehingga sebagai manusia biasa, penulis selalu terbuka terhadap masukan dan menerima segala kritik dan saran dari semua pihak yang sifatnya membangun demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan tidak lupa juga penulis menyampaikan permohonan maaf yang sebesar-besarnya jika terdapat kesalahan dan kekeliruan di dalam skripsi ini.

Jember, 24 Oktober 2017

Penulis

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada zaman modern ini, kemajuan di bidang ilmu pengetahuan dan teknologi sudah tidak dapat diragukan lagi. Di dunia kelistrikan, kita sudah tidak asing dengan *Distributed Generation* (DG). Beberapa publikasi yang ada menunjukkan bahwa DG merupakan suatu fenomena baru dan berkembang secara signifikan hampir di seluruh dunia. Dalam beberapa dekade terakhir ini, DG mulai dikembangkan dinegara-negara maju seperti Eropa dan Amerika untuk mendukung kebutuhan energi listrik negara. DG adalah sebuah pendekatan yang menggunakan teknologi skala kecil untuk menghasilkan listrik dekat dengan pengguna atau biasanya disebut juga pembangkit kecil tersebar. Teknologi DG sering terdiri dari modular generator dan kadang-kadang energi terbarukan. (Khalid Al Wazir, 2015).

DG dinilai sebagai suatu solusi yang tepat untuk mengatasi kekurangan pasokan energi listrik maupun mengatasi problematika sistem distribusi listrik seperti rugi-rugi daya listrik, keseimbangan sistem distribusi listrik, dan juga mengatasi beban kritis yang mengalami drop tegangan. Dikarenakan DG yang terletak dipusat-pusat beban, maka DG selain dapat langsung melayani beban yang membutuhkan energi listrik tambahan juga dapat diinterkoneksi ke jaringan distribusi listrik untuk optimalisasi keandalan jaringan distribusi tersebut. (B. Venkatesh, R. Ranjan. 2003).

Pemasangan DG bisa menyebabkan permasalahan pada jaringan distribusi. Penambahan DG pada jaringan distribusi bisa mengakibatkan peningkatan level arus gangguan pada sistem yang pada akhirnya juga bisa mengakibatkan miskoordinasi diantara peralatan-peralatan proteksi pada jaringan distribusi. Oleh karena itu diperlukan sistem proteksi yang baik dan mampu mengantisipasi gangguan untuk menjaga stabilitas sistem serta menghindarkan dari kerusakan pada peralatan akibat arus gangguan yang mengalir. Koordinasi sistem proteksi menjadi salah satu hal yang berperan sangat penting untuk menjamin keandalan sistem proteksi dalam mengantisipasi gangguan (Dani Brami Purwosetyo, 2011).

Sistem proteksi yang diimplementasikan pada sistem diperlukan perhitungan dan analisa setting rele proteksi untuk mendapatkan koordinasi yang tepat. Apabila terjadi gangguan seperti beban lebih dan hubung singkat maka seminimal mungkin sistem yang lain tidak terganggu. *Over current relay* (ocr) merupakan solusi rele yang digunakan untuk mengatasi arus lebih pada sistem. Prinsip kerjanya berdasarkan beban arus yang telah di tetapkan (*setting*) apabila arus yang mengalir pada sistem melebihi yang telah di tetapkan, maka rele akan memerintahkan *circuit breaker* untuk membuka.

Beberapa penelitian mengenai penempatan DG dan kapasitor pada jaringan distribusi dengan penempatan lokasi yang tepat akan mengurangi rugi-rugi daya dan *drop* tegangan pada sistem. Pada penelitian sebelumnya dilakukan optimasi penempatan DG dan kapasitor daya untuk mendapatkan ukuran DG dan kapasitor dalam penempatan bus yang optimal (Mohammad H, moradi.2014), dan belum dilakukan penelitaian mengenai kordinasi proteksi. Adapun penelitian yang dilakukan Hasbullah (2016) mengenai analisa hubung singkat pada jaringan distribusi dengan penambahan unit DG untuk menganalisis pengaruh penambahan DG terhadap koordinasi proteksi, pada penelitian tersebut hanya menunjukkan pada penambahan DG di bus tertentu mengakibatkan terjadinya miskordinasi sistem proteksi.

Pada tugas akhir ini membahas kordinasi setting proteksi rele proteksi terhadap adanya pemasangan DG dan kapsitor daya pada jaringan distribusi menggunakan motode fuzzy. Metode ini diharapkan akan memperoleh solusi keluaran optimal untuk koordinasi rele proteksi pada penambahan DG dan kapasitor pada jaringan distribusi sistem radial dengan tetap memperhatikan batasan batasan dalam sistem yang digunakan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang diuraikan pada latar belakang, maka dapat disusun beberapa rumusan masalah yang menjadi fokus penelitian adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana mendapatkan koordinasi rele proteksi yang optimal terhadap pemasangan DG dan kapasitor pada saat arus hubung singkat?
2. Bagaimana tingkat performasi koordinasi rele proteksi terhadap penambahan DG dan kapasitor dengan metode fuzzy logic dibandingkan dengan metode konvensional?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian yang dilakukan dapat lebih terfokus dan tidak menyimpang dari permasalahan yang ada, maka diambil beberapa batasan masalah sebagai berikut :

1. Tugas akhir tidak aplikasi secara langsung tetapi hanya dalam bentuk simulasi.
2. Simulasi menggunakan software ETAP 12.6 dan *software* MATLAB R2009b.
3. Tugas akhir ini menggunakan sistem kelistrikan uji standart 69 bus.
4. Peralatan sistem proteksi yang akan di setting dan di koordinasikan adalah rele arus lebih (*over current relay*)
5. Analisa sistem tenaga meliputi analisa hubung singkat.
6. Kordinasi proteksi meliputi *over current relay* (OCR) dan *fuse cut off* (FCO)

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang akan dicapai dalam melaksanakan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui pengaruh pemasangan DG dan kapasitor daya terhadap koordinasi proteksi pada jaringan distribusi.
2. Mendapatkan setting dan koordinasi rele proteksi yang optimal terhadap penambahan DG dan kapasitor daya menggunakan fuzzy logic

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan setelah melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pembelajaran dan penyelesaian persoalan setting koordinasi rele proteksi

2. Untuk mengetahui pengaruh pemasangan DG dan kapasitor daya terhadap koordinasi proteksi pada jaringan distribusi

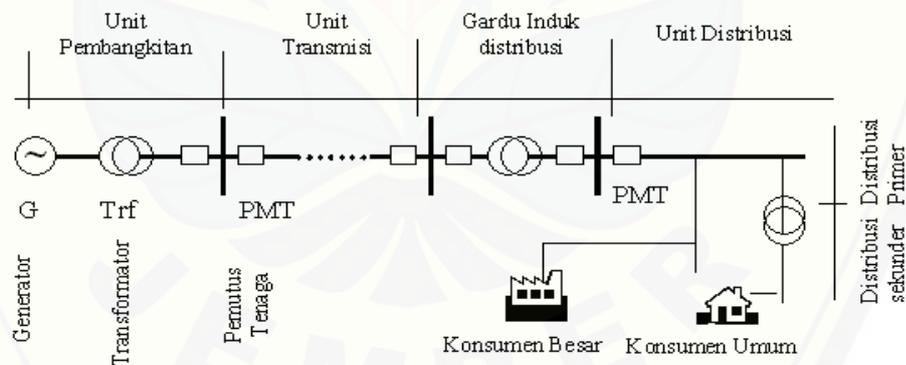


BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem Tenaga Listrik dikatakan sebagai kumpulan atau gabungan yang terdiri dari komponen-komponen atau alat-alat listrik seperti generator, transformator, saluran transmisi, saluran distribusi dan beban yang saling berhubungan dan merupakan satu kesatuan sehingga membentuk suatu sistem. (Wahyono, 2004) .

Didalam dunia kelistrikan sering timbul persoalan persoalan teknis, dimana tenaga listrik pada umumnya dibangkitkan pada tempat-tempat tertentu yang jauh dari kumpulan pelanggan, sedangkan pemakai tenaga listrik atau pelanggan tenaga listrik tersebar disegala penjuru tempat, Dengan demikian maka penyampaian tenaga listrik dari tempat dibangkitkannya yang disebut pusat tenaga listrik sampai ke tempat pelanggan memerlukan berbagai penanganan teknis. Dengan menggunakan blok diagram sistem tenaga listrik dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.1 Diagram *Line* Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen. Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikkan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70

kV, 154 kV, 220 kV atau 500 kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir (I^2R). Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula.

Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380 Volt. Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen.

Dengan ini jelas bahwa sistem distribusi merupakan bagian yang penting dalam sistem tenaga listrik secara keseluruhan. Pada sistem penyaluran daya jarak jauh, selalu digunakan tegangan setinggi mungkin, dengan menggunakan trafo-trafo *step up*. Nilai tegangan yang sangat tinggi ini (HV, UHV, EHV) menimbulkan beberapa konsekuensi antara lain: berbahaya bagi lingkungan dan mahalnya harga perlengkapan-perengkapannya, selain menjadi tidak cocok dengan nilai tegangan yang dibutuhkan pada sisi beban. Maka, pada daerah-daerah pusat beban tegangan saluran yang tinggi ini diturunkan kembali dengan menggunakan trafo-trafo *step down*. Akibatnya, bila ditinjau nilai tegangannya, maka mulai dari titik sumber hingga di titik beban, terdapat bagian-bagian saluran yang memiliki nilai tegangan berbeda-beda. Sebagai parameter pada kegiatan operasi terdapat beberapa parameter, yaitu :

1. Mutu listrik

Ada 2 hal yang menjadi ukuran mutu listrik yaitu tegangan dan frekuensi. Batas toleransi tegangan pelayanan yaitu pada konsumen TM adalah $\pm 5\%$, dan pada konsumen TR adalah maksimum 5% dan minimum 10%. Sedangkan untuk batas toleransi frekuensi adalah $\pm 1\%$ dari frekuensi standar 50 Hz.

2. Keandalan penyaluran tenaga listrik

Sebagai indikator keandalan penyaluran adalah angka lama pemadaman / gangguan atau yang disebut *Sistem Average Interruption Duration Index* (SAIDI) dan angka seringnya pemadaman / gangguan atau yang disebut *Sistem Average Interruption Frequency Index* (SAIFI).

3. Keamanan dan keselamatan

Sebagai indikator dari keamanan dan keselamatan adalah jumlah angka kecelakaan akibat listrik pada personil dan kerusakan pada instalasi / peralatan serta pada lingkungan.

4. Biaya pengoperasian

Sebagai indikatornya adalah angka susut jaringan, yaitu selisih antara energi yang dikeluarkan oleh pembangkit dengan energi yang digunakan oleh pelanggan. Penyebab susut jaringan antara lain yaitu pencurian listrik, kesalahan alat ukur, jaringan yang terlalu panjang, faktor daya rendah serta konfigurasi jaringan yang kurang tepat.

5. Kepuasan pelanggan

Sebagai indikator akan kepuasan pelanggan adalah apabila kebutuhan akan listrik oleh konsumen baik kualitas, kuantitas serta kontinuitas pelayanan terpenuhi.

2.2 Distributed Generation (DG)

Distributed generation seringkali disebut juga dengan *on-site generation*, *dispersed generation*, *embedded generation*, *decentralized generation*, atau *distributed energy*. Secara mendasar, DG menghasilkan energi listrik dari beberapa sumber energi yang berkapasitas kecil dan dihubungkan langsung pada jaringan distribusi. *Distributed generation* adalah pembangkit listrik yang melayani konsumen di tempat (*on-site*), atau untuk mendukung jaringan distribusi, dan terhubung ke jaringan pada level tegangan distribusi. Teknologinya secara umum terdiri dari mesin, turbin kecil (termasuk turbin mikro), *fuel cell* dan *photovoltaic* serta teknologi pembangkitan energi listrik berskala kecil yang menghasilkan daya listrik di suatu tempat yang lebih dekat dengan konsumen

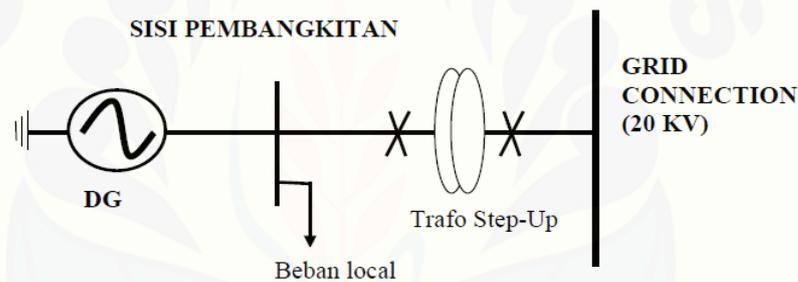
dibandingkan dengan pembangkit listrik pusat. Pembangkit ini dapat dihubungkan secara langsung ke konsumen atau ke sistem distribusi atau transmisi milik *utility*.

2.2.1 Pemasangan (Interkoneksi) DG

Secara garis besar, interkoneksi pada DG terbagi atas tiga komponen, yaitu:

a. Sumber Energi Utama (Prime Energy Source)

Hal ini menunjuk pada teknologi DG sebagai sumber energi seperti energi surya, angin, mikrohidro, pasang surut dan biomassa. Setiap teknologi DG memiliki karakter yang berbeda-beda dalam menghasilkan energi, misalnya tipikal energi yang dihasilkan oleh PV dan fuel cell berupa direct current atau wind turbin yang tipikal energinya berupa energi mekanis (dihasilkan dari putaran pada turbin).



Gambar 2.2 Interkoneksi DG

b. Power Converter

Power converter dalam interkoneksi, berfungsi untuk mengubah energi dari sumber energi utama (prime energy resources) menjadi energi dengan level frekuensi tertentu (50Hz - 60Hz). Secara garis besar, ada 3 kategori power converter yang digunakan dalam interkoneksi, yaitu :

- 1) Generator sinkron
- 2) Generator induksi
- 3) Static power converter

Generator sinkron dan generator induksi mengkonversi putaran energi mekanis ke dalam tenaga listrik dan sering disebut dengan routing power converter. *Static power converter* (biasa dikenal dengan inverter) tersusun atas

solid-device seperti transistor. Pada inverter, transistor mengkonversi energi dari sumber menjadi energi dengan frekuensi 50-60Hz dengan switching (switch on-off). Teknologi DG yang dijual di pasaran, kebanyakan telah diintegrasikan dengan *power converter* masing-masing. Misalnya fuel cell yang telah diintegrasikan dengan inverter. *Power converter* memiliki efek yang besar terhadap DG pada sistem distribusi. Oleh sebab itu dibutuhkan peralatan interkoneksi untuk menjamin keamanan dan kestabilan operasi. Generator sinkron, generator induksi dan inverter memberikan respon yang sangat berbeda terhadap variasi kondisi dari sistem tenaga.

c. Sistem Interface dan Peralatan Proteksi

Peralatan ini ditempatkan sebagai penghubung antara terminal output dari *power converter* dan jaringan primer. Komponen interkoneksi ini biasanya terdiri atas step-up transformer, metering kadang ditambahkan controller dan relay proteksi. Dalam komponen ini terkadang terdapat communication link untuk mengontrol kondisi pada sistem.

2.3 Kapasitor *Bank*

Kapasitor *Bank* merupakan peralatan listrik yang mempunyai sifat kapasitif yang terdiri sekumpulan beberapa kapasitor yang disambung secara paralel untuk mendapatkan kapasitas kapasitif tertentu. Besaran parameter yang sering dipakai adalah KVAR (Kilovolt ampere reaktif) meskipun pada kapasitor sendiri tercantum besaran kapasitansi yaitu Farad atau microfarad. Kapasitas kapasitor dari ukuran 5 KVar sampai 60 Kvar. Dari tegangan kerja 230 V sampai 525 Volt. Kapasitor ini mempunyai sifat listrik yang kapasitif (*leading*). Sehingga mempunyai sifat mengurangi atau menghilangkan terhadap sifat induktif (*leaging*).

Fungsi utama dari kapasitor *bank* yaitu sebagai penyeimbang beban induktif, Seperti yang kita ketahui beban listrik terdiri dari beban reaktif (R), induktif (L) dan capasitif (C). Dimana peralatan listrik yang sering digunakan dan dijumpai memiliki karakteristik induktif, sehingga untuk menyeimbangkan

karakteristik beban tersebut perlu digunakan kapasitor yang berperan sebagai beban kapasitif. Berikut ini adalah beberapa kegunaan dari kapasitor bank :

1. Memerbaiki *power factor* (faktor daya).
2. Menyuplai daya reaktif sehingga mamaksimalkan penggunaan daya kompleks (KVA).
3. Mengurangi jatuh tegangan (*Voltage drop*).
4. Menghindari kelebihan beban transformer.
5. Memberikan tambahan daya tersedia.
6. Menghindari kenaikan arus atau suhu pada kabel.
7. Menghemat daya atau efesiensi.
8. Mengawetkan instalasi dan peralatan listrik.
9. Kapasitor *bank* juga mengurangi rugi – rugi lainnya pada instalasi listrik.

Kapasitor yang digunakan untuk memperbaiki pf supaya tahan lama tentunya harus dirawat secara teratur. Dalam perawatan itu perhatian harus dilakukan pada tempat yang lembab yang tidak terlindungi dari debu dan kotoran. Sebelum melakukan pemeriksaan pastikan bahwa kapasitor tidak terhubung lagi dengan sumber. Kemudian karena kapasitor ini masih mengandung muatan berarti masih ada arus/tegangan listrik maka kapasitor itu harus dihubung singkatkan supaya muatannya hilang.

2.4 Analisa Aliran Daya

Studi aliran daya adalah studi yang dilakukan untuk mendapatkan informasi mengenai aliran daya atau tegangan sistem dalam kondisi steady state. Informasi ini sangat dibutuhkan guna mengevaluasi unjuk kerja sistem tenaga dan menganalisis kondisi pembangkitan maupun pembebanan. Dalam analisis aliran daya, kita mengambil ketentuan-ketentuan sebagai berikut:

- a). Sistem dalam keadaan seimbang; dengan demikian kita dapat melakukan perhitungan dengan menggunakan model satu-fasa.
- b). Semua besaran dinyatakan dalam per-unit; dengan demikian berbagai tingkat tegangan dalam sistem sebagai akibat digunakannya transformator, tidaklah menjadi persoalan.

Bus-bus dalam rangkaian sistem tenaga merupakan simpul-simpul rangkaian yang biasa kita kenal dalam analisis rangkaian listrik. Bus-bus ini dapat dikelompokkan dalam beberapa jenis:

c. Bus-generator (generator bus), adalah bus dimana generator dihubungkan melalui transformator. Daya yang masuk dari generator ke bus-generator ke- i (bus nomer i) adalah

sistem tenaga dalam mekanisme aliran daya secara umum didefinisikan oleh matriks admintasi bus. Matriks ini merupakan relasi suatu sistem bus n , dan diperoleh dengan menerapkan kirchoff current law (KCL) untuk bus bus sistem dalam jaringan sistem tenaga yang disebut persamaan node-voltage. Persamaan node-voltage dalam bentuk matriks yaitu:

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_i \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1i} & \dots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2i} & \dots & Y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{i1} & Y_{i2} & \dots & Y_{ii} & \dots & Y_{in} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \dots & Y_{ni} & \dots & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_i \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

$$I_{bus} = Y_{bus} V_{bus} \quad (2.2)$$

Dimana I_{bus} adalah vector arus bus terinjeksi. V_{bus} adalah vector tegangan bus terukur dari node referensi. Y_{bus} disebut sebagai matriks admintasi bus. Elemen diagonal tiap node adalah jumlah admintasi terhubung pada elemen diagonal sendiri. Elemen ini disebut sebagai admintasi sendiri,

$$Y_{ii} = \sum_{j=0}^n y_{ij} \quad j \neq i \quad (2.3)$$

Elemen off diagonal adalah sama dengan nilai negative dari admintasi antara node node. Elemen ini disebut sebagai admintasi bersama

$$Y_{ij} = Y_{ji} = -Y_{ij}$$

Saat arus bus diketahui, dapat dipecahkan untuk tegangan bus n bus,

$$V_{bus} = Y_{bus}^{-1} I_{bus} \quad (2.4)$$

Agar mendapatkan fungsi objektif, metode aliran daya digunakan dalam tugas akhir ini, metode aliran daya menggunakan pendekatan newton raphshon untuk memecahkan permasalahan ini. Dalam pendekatan ini, magnitude daya kompleks pada bus I adalah

$$P_i + jQ_i = V_i I_i^* \quad (2.5)$$

Dimana

$$P_i = V_i \left(\sum_{j=1}^n |Y_{ij}| V_j \cos(\psi_i - \theta_{ij} - \psi_j) \right)$$

$$Q_i = V_i \left(\sum_{j=1}^n |Y_{ij}| V_j \sin(\psi_i - \theta_{ij} - \psi_j) \right) \quad (2.6)$$

Bentuk linier persamaan 2.6 dan 2.7 dapat direpresentasikan oleh deret Taylor. Sehingga persamaan aliran daya dapat direpresentasikan dalam bentuk matriks Jacobian sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} J1 & J2 \\ J3 & J4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Dengan

ΔP :perbedaan daya aktif terinjeksi

ΔQ : perbedaan daya reaktif terinjeksi

$\Delta |V|$: magnitude vector tegangan terkoneksi

$\Delta \delta$:vektor sudut phasa terkoneksi

$J1, J2, J3, J4$ adalah elemen diagonal engan of diagonal sub matriks jacobian. untuk selanjutnya, nilai nilai $\Delta |V|$ dan $\Delta \delta$ dihitung dengan proses iterasi newton raphson sampai nilai ΔP dan ΔQ kurang dari nilai toleransi yang diterapkan (ϵ).

2.5 Analisa Hubung Singkat

Hubung singkat merupakan suatu hubungan abnormal (termasuk busur api) pada impedansi yang relatif rendah terjadi secara kebetulan atau disengaja antara dua titik yang mempunyai potensial yang berbeda. Istilah gangguan atau gangguan hubung singkat digunakan untuk menjelaskan suatu hubungan singkat.

Untuk mengatasi gangguan tersebut, perlu dilakukan analisis hubung singkat sehingga sistem Proteksi yang tepat pada Sistem Tenaga Listrik dapat ditentukan. Analisis hubung singkat adalah analisis yang mempelajari kontribusi arus gangguan hubung singkat yang mungkin mengalir pada setiap cabang didalam sistem (di jaringan distribusi, transmisi, trafo tenaga atau dari pembangkit) sewaktu gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi di dalam sistem tenaga listrik.

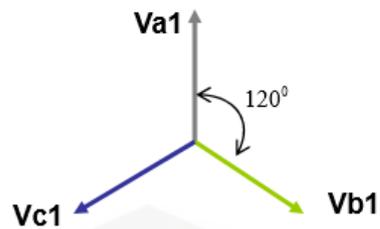
Tujuan utama dari melakukan analisa hubung singkat adalah untuk menentukan nilai arus maksimum dan minimum. Arus hubung singkat tersebut digunakan sebagai acuan untuk setting rele. adapun analisis hubung singkat digunakan mencari nilai arus gangguan tak seimbang (unbalance fault current), menentukan kapasitas rating maksimum dari pemutusan tenaga, pemeriksaan kinerja rele proteksi, menentukan distribusi arus gangguan dan tingkat tegangan bus selama kondisi hubung singkat.

2.5.1 Komponen Simetri

Komponen simetris digunakan untuk menganalisis terutama sistem yang tidak seimbang, misalnya saat terjadi hubung singkat tiga fasa, dua fasa dan satu fasa ke tanah. Dimana sebuah sistem tak seimbang diubah menjadi tiga rangkaian persamaan yaitu rangkaian urutan positif, urutan negatif, dan urutan nol. Menurut teorema Fortescue, tiga fasor tak seimbang dari sistem tiga fasa dapat diuraikan menjadi tiga sistem fasor yang seimbang. Himpunan seimbang komponen itu adalah (Stevenson, 1982: 260):

1. Komponen urutan positif (positive phase-sequence)

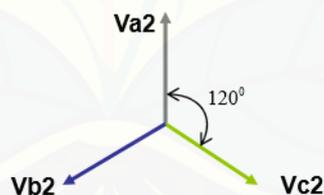
Memiliki sistem tiga fasa dengan urutan fasa a-b-c yang sama dengan fasa aslinya (berputar searah dengan jarum jam). Setiap fasa memiliki magnitude yang sama dan memiliki beda fasa yang sama yakni 120 derajat sehingga sistem ini seimbang. Sistem yang berjalan normal hanya memiliki komponen urutan positif saja.



Gambar 2.3 komponen urutan positif

2. Komponen urutan negatif

Memiliki sistem tiga fasa dengan urutan fasa a-c-b yang sama dengan fasa aslinya (berputar berlawanan dengan jarum jam). Setiap fasa memiliki magnitudo yang sama dan memiliki beda fasa yang sama yakni 120 derajat. Komponen urutan negatif akan muncul pada sistem dalam keadaan gangguan tidak seimbang (unbalance fault), yaitu pada gangguan singkat satu fasa ketanah, gangguan fasa fasa dan dua fasa ke tanah.

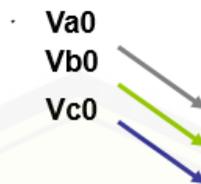


Gambar 2.4. komponen urutan negatif

3. Komponen urutan nol

Komponen urutan nol tidak punya urutan fasa, karena ketiga fasa a, b, c memiliki sudut yang sama, sehingga arah fasornya sama. Selain itu, komponen urutan nol memiliki besar magnitudo yang sama untuk tiap fasa. Komponen urutan nol akan terjadi apabila sistem mengalami gangguan hubung pendek yang terhubung pada netral, antara lain gangguan satu fasa ketanah, dua fasa ke tanah dan tiga fasa ke tanah. besarnya impedansi urutan

nol bervariasi sesuai dengan pembangkit, pengaturan kumparan dan metode pentanahannya.



Gambar 2.5. komponen urutan nol

2.5.2 Jenis Gangguan Hubung Singkat

Berdasarkan kesimetrisannya gangguan hubung singkat diklasifikasikan menjadi dua macam yaitu:

1. Gangguan asimetris

Merupakan gangguan yang mengakibatkan tegangan dan arus yang mengalir pada setiap fasanya menjadi tidak seimbang. Gangguan ini terdiri dari

- Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah
- Gangguan hubung singkat dua fasa
- Gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah

2. Gangguan simetris

Merupakan gangguan yang terjadi pada semua fasanya sehingga arus maupun tegangan setiap fasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi. Gangguan ini terdiri dari:

- Gangguan hubung singkat tiga fasa
- Gangguan hubung singkat tiga fasa ke tanah

2.6 Sistem Proteksi

Proteksi sistem tenaga listrik adalah sistem proteksi yang dilakukan kepada peralatan-peralatan listrik yang terpasang pada suatu sistem tenaga misalnya generator, transformator jaringan dan lain-lain, terhadap kondisi abnormal operasi sistem itu sendiri. Kondisi abnormal itu dapat berupa antara lain : hubung

singkat, tegangan lebih, beban lebih, frekuensi sistem rendah, asinkron dll. Adapun cara yang digunakan untuk sistem proteksi adalah mendeteksi gangguan dan mengisolasi gangguan. Pendeteksi gangguan dilakukan dengan pembacaan parameter parameter tertentu kemudian dibandingkan dengan setting yang telah ditentukan. Kemudian isolasi gangguan sebagai langkah selanjutnya setelah pendeteksian gangguan terjadi.

Tujuan utama dari sistem proteksi adalah melindungi sistem dari kerusakan yang disebabkan oleh gangguan dengan cara mengisolasi gangguan, agar sistem yang tidak terganggu berjalan dengan normal. Adapun cara mengisolasi adalah dengan cara memutus saluran listrik yang mengalami gangguan. Adapun alat yang digunakan untuk mendeteksi gangguan listrik atau kondisi lain yang tidak diinginkan adalah rele. Setelah terjadi pembacaan gangguan maka rele akan memerintahkan pemutus listrik bekerja.

Rele proteksi digunakan untuk membagi sistem tenaga listrik kedalam zona proteksi dengan cara pemutusan sistem seminimum mungkin agar tetap aman. Sistem proteksi dibagi dalam zona antara lain Generator atau unit generator-transformator, Transformator, Bus, Saluran transmisi, Motor.

2.6.1 Prinsip Sistem Proteksi

Pada sistem proteksi tenaga listrik, ada beberapa aspek yang harus dipenuhi demi mengamankan peralatan-peralatan listrik yang ada. Untuk itu beberapa parameter yang harus dipenuhi oleh suatu sistem proteksi, seperti berikut ini :

1. Selektivitas

Selektivitas suatu sistem proteksi jaringan tenaga adalah kemampuan rele proteksi untuk melakukan tripping secara tepat sesuai rencana yang telah ditentukan pada saat mendesain sistem proteksi tersebut.

Dalam pengertian lain, selektivitas berarti rele harus mempunyai daya beda, sehingga mampu dengan tepat memilih bagian yang terkena gangguan. Kemudian rele bertugas mengamankan peralatan dengan cara mendeteksi adanya gangguan dan memberikan perintah kepada pemutus tenaga

(PMT) agar pemutus tenaga membuka kontaknya sehingga hanya memutuskan pada daerah yang terganggu.

2. Stabilitas

Stabilitas sistem proteksi biasanya terkait dengan skema unit proteksi, yang dimaksudkan untuk menggambarkan kemampuan sistem proteksi tertentu untuk tetap bertahan pada karakteristik kerjanya dan tidak terpengaruh faktor luar di luar daerah proteksinya, misalnya pada arus beban lebih dan arus gangguan lebih.

Dengan kata lain, stabilitas dapat juga didefinisikan sebagai kemampuan untuk tetap konsisten hanya bekerja pada daerah proteksi di mana dia dirancang tanpa terpengaruh oleh berbagai parameter luar yang tidak merupakan besaran yang perlu diperhitungkan.

3. Kecepatan

Fungsi sistem proteksi adalah untuk mengatasi gangguan secepat dan sesegera mungkin. Tujuan utamanya adalah mengamankan kontinuitas pasokan daya dengan menghilangkan setiap gangguan sebelum gangguan tersebut berkembang atau meluas ke arah yang membahayakan stabilitas dan hilangnya sinkronisasi sistem yang pada akhirnya dapat merusak sistem tenaga tersebut. Seperti isolasi bocor akibat adanya gangguan tegangan lebih terlalu lama sehingga peralatan listrik yang diamankan dapat mengalami kerusakan.

Namun demikian, sistem proteksi atau yang sering disebut rele proteksi ini tidak boleh bekerja terlalu cepat (kurang dari 10ms). Disamping itu, waktu kerja rele tidak boleh melampaui waktu penyetelan kritis. Pada sistem yang besar atau luas, kecepatan pada rele proteksi sangat diperlukan karena untuk menjaga kestabilan sistem agar tidak terganggu.

4. Sensitivitas

Sensitivitas adalah istilah yang sering dikaitkan dengan harga besaran penggerak minimum, seperti level arus minimum, tegangan, daya dan besaran

lain dimana rele atau skema proteksi masih dapat bekerja dengan baik. Suatu rele disebut sensitif bila parameter operasi utamanya rendah. Artinya, semakin rendah besaran parameter penggerak maka perangkat tersebut dikatakan semakin sensitif. Sehingga rele harus dapat bekerja pada awal terjadinya gangguan.

2.6.2 Karakteristik waktu kerja Rele

Setiap rele mempunyai bermacam-macam karakteristik kerja terkait waktu. Karakteristik waktu kerja rele dapat ditentukan dengan mengatur time dial dan time delay nya. Pada umumnya jenis karakteristik kerja rele, yaitu :

a. Instantaneous (Waktu Seketika)

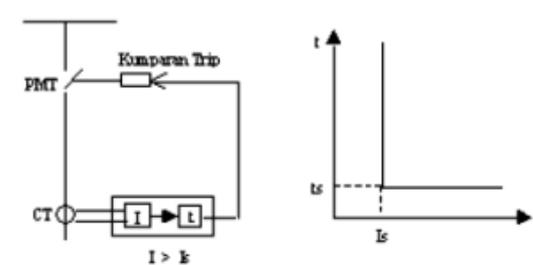
karakteristik waktu kerja seketika ialah jika jangka waktu rele mulai saat rele arusnya *pick up* sampai selesainya kerja rele sangat singkat (10~20 ms), yaitu tanpa penundaan waktu. Rele ini jarang berdiri sendiri tetapi umumnya dikombinasikan dengan rele arus lebih dengan karakteristik waktu tertentu atau waktu terbalik.



Gambar 2.6 Karakteristik Rele Waktu Seketika

b. Definite time (Waktu Tertentu)

Rele ini akan memberikan perintah pada PMT pada saat terjadi gangguan hubung singkat dan besarnya arus gangguan melampaui *settingnya* (I_s), dan jangka waktu kerja rele ini mulai *pick up* sampai kerja rele diperpanjang dengan waktu tertentu dan tidak tergantung dari besarnya arus yang menggerakkan rele.



Gambar 2.7 Karakteristik Rele Waktu Tertentu

c. Invers time (Waktu Terbalik)

Rele ini akan bekerja dengan waktu tunda yang tergantung dari besarnya arus secara terbalik, makin besar arus makin kecil waktu tundanya. Karakteristik ini bermacam-macam dan setiap pabrik dapat membuat karakteristik yang berbeda-beda.

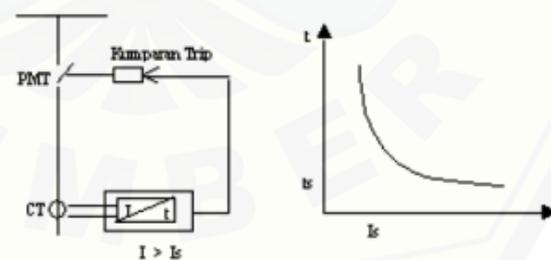
Karakteristik waktu terbalik sesuai IEC 60255-3 dan BS 142 19666 adalah sebagai berikut :

$$T = \frac{\beta}{\left(\left(\frac{i_f}{i_{set}}\right)^\alpha - 1\right)} T_{ms} \text{ (detik)} \quad (2.8)$$

$$T_{ms} = \frac{\left(\left(\frac{i_f}{i_{set}}\right)^\alpha - 1\right)}{\beta} t \quad (2.9)$$

karakteristik waktunya dibedakan dalam beberapa kelompok :

1. Berbanding terbalik (*inverse*), dimana $\alpha = 0,02$ dan $\beta = 0,14$
2. Sangat berbanding terbalik (*very inverse*), dimana $\alpha = 1$ dan $\beta = 13,2$
3. Sangat berbanding terbalik sekali (*extremely inverse*), dimana $\alpha = 2$ dan $\beta = 80$
4. Sangat sangat berbanding terbalik sekali (*Long Inverse*), dimana $\alpha = 1$ dan $\beta = 120$



Gambar 2.8 Karakteristik Waktu Terbalik

Setelan Rele dengan menggunakan karakteristik waktu terbalik ini biasanya dipergunakan pada sistem distribusi tenaga listrik sebagai setelan rele yang terpasang di *incoming feeder*, *outgoing feeder*, atau rele yang terpasang di gardu hubung atau *recloser*, dimana penyetelan arus dan waktu pada rele arus lebih dan gangguan tanah di dasarkan pada besarnya arus gangguan

hubung singkat yang di setel pada sisi hilir sampai dengan sisi hulu (dari gardu hubung sampai gardu induk).

2.7 Rele Arus Lebih

Rele arus lebih adalah rele yang bekerja berdasarkan arus, yang mana rele ini akan bekerja apabila terjadi arus yang melampaui batas tertentu yang telah ditetapkan yang disebut arus kerja atau arus *setting* rele. rele arus lebih biasa tidak dapat membedakan arah arus, sehingga rele akan bekerja apabila aliran arus terbalik.

Rele arus lebih memiliki waktu kerja seperti yang dibahas diatas yaitu, *intentional*, *definite* dan *inverse time*. Semua jenis waktu kerja rele memiliki kecenderungan untuk menjadi garis lurus ke suatu nilai tertentu apabila arus yang mengalir terus meningkat nilainya. Ketiga karakteristik waktu kerja tersebut didapatkan dengan cara mengubah titik saturasi. Karakteristik tersebut dipengaruhi oleh piringa induksi dan mangkuk induksi pada rele elektromagnetik. Untuk rele digital, karakteristik dapat diatur oleh rangkaian digital yang mengatur rele sesuai dengan karakteristik yang dipilih.

Didalam distribusi, rele arus lebih ini sering juga disebut pengaman gangguan antar fasa yang dipergunakan untuk mengamankan sistem distribusi, jika ada gangguan hubung singkat 3 fasa atau 2 fasa. Pemasangan rele ini terdapat di *incoming feeder* (penyulang masuk), *outgoing feeder* (penyulang keluar) atau di gardu hubung.

2.8 Koordinasi rele

Aturan dasar yang benar untuk koordinasi rele secara umum yaitu:

- a. Bila memungkinkan gunakan rele dengan karakteristik yang sama dengan satu dan lainnya.
- b. Memastikan bahwa rele yang terjauh dari sumber memiliki pengaturan sama dengan atau kurang dari waktu rele sebelumnya. Artinya bahwa arus utama yang diperlukan untuk mengoperasikan rele didepan selalu sama dengan atau kurang dari arus utama yang diperlukan untuk mengoperasikannya

2.8.1 Setting Ocr

1. Setting Arus

Pada dasarnya batas penyetelan rele arus lebih adalah rele tidak boleh bekerja pada saat beban maksimum. Arus settingnya harus lebih besar dari arus beban maksimumnya. Arus penyetelan pun harus memperhatikan kesalahan pick up sesuai dengan British Standard Pick Up (dani brami ,2011)

1.05 arus beban maksimal $\leq I_p \leq 0.8$ arus hubung singkat minimum

Dapat dilihat bahwa besar arus pick up haruslah lebih besar dari 1.05 arus nominal dan lebih kecil dari 0.8 arus gangguan minimum yang dirasakan oleh rele

2. Setting Waktu

Rele membutuhkan nilai arus hubung singkat minimum dan arus beban maksimum untuk membuat setting rele. Keriiteria ini dibutuhkan untuk menghindari kemungkinan kesalahan operasi rele ketika berjalan normal. Penyetelan rele dimaksudkan untuk memberikan batas minimum dari besaran ukur agar rele bekerja

Berdasarkan karakteristik kerja arus – waktu, rele arus lebih dibagi atas beberapa jenis, yaitu :

1. Definit yaitu rele arus lebih dengan penundaan waktu tertentu.
2. Invers yaitu rele arus lebih dengan penundaan waktu terbalik.
3. Very Invers yaitu rele arus lebih dengan penundaan waktu sangat terbalik.
4. Extremely Invers yaitu rele arus lebih dengan penundaan waktu amat sangat terbalik.
5. Invers Definite Minimum IDMT yaitu rele arus lebih dengan penundaan waktu tertentu dan terbalik.
6. Instantaneous yaitu rele arus lebih dengan penundaan waktu sesaat.

Setting Waktu Penyetelan waktu kerja rele terutama dipertimbangkan terhadap kecepatan dan selektivitas kerja dari rele, sehingga rele tidak salah operasi, yang dapat menyebabkan tujuan pengaman tidak berarti. Untuk setting

waktu sesuai standard IEEE 242 yaitu : Waktu terbuka Circuit beaker : 0,04 – 0,1 s (2-5 Cycle) Overtravel dari rele : 0,1 s Faktor Keamanan : 0,12 – 0,22 s Untuk rele static dan rele digital berbasis microprocessors overtravel time dari rele dapat diabaikan. Sehingga total waktu = 0,2 -0,4 s

perhitungan setting rele dan parameter yang perlu diketahui (WECC, 1989).

a. arus nominal

Arus nominal adalah arus kerja dari suatu peralatan listrik

$$I_n = I_{base} = \frac{S_{base}}{\sqrt{3}V_{base}} \quad (2.10)$$

Keterangan:

$I_n = I_{base}$ = arus nominal (A)

S_{base} = daya semu (VA)

V_{base} = tegangan (V)

b. Rasio CT

Rasio CT ditentukan dari arus nominal peralatan atau dari kabel pada umumnya.

$$\text{Rasio CT} = \frac{\text{primer}}{\text{sekunder}} \quad (2.11)$$

c. Arus yang mengalir melalui rele

$$I_{rele} = I_{base} \frac{1}{\text{rasio CT}} \quad (2.12)$$

d. Arus kerja rele (standar OCR 110%)

$$I_{set OCR} = 1.1 \times I_{base} \quad (2.13)$$

e. Waktu operasi (ts)

Time setting (ts) adalah waktu yang dibutuhkan oleh suatu pengaman (rele) untuk bekerja.

$$\frac{k}{(I_{set OCR})^{\alpha-1}} \times TMS \quad (2.14)$$

Keterangan

Tms (time multiple setting) = standart waktu setting rele

K = konstanta standart invers (0.14)

α = konstanta standart invers (0.02)

2.9 Fuse Cut Out (FCO)

Fuse (pelebur) merupakan suatu alat pemutus yang dengan meleburnya bagian dari komponennya yang telah dirancang khusus dan disesuaikan ukurannya untuk itu, membuka rangkaian dimana pelebur tersebut terpasang dan memutuskan arus bila arus tersebut melebihi suatu nilai tertentu dalam waktu yang cukup.

Fuse cut out (selanjutnya disebut fuse) adalah suatu alat pengaman yang melindungi jaringan terhadap arus beban lebih (over load current) yang mengalir melebihi dari batas maksimum, yang disebabkan karena hubung singkat (short circuit) atau beban lebih (over load). Konstruksi dari fuse ini jauh lebih sederhana bila dibandingkan dengan pemutus beban (circuit breaker) yang terdapat di Gardu Induk (sub-station). Akan tetapi fuse ini mempunyai kemampuan yang sama dengan pemutus beban tadi. Fuse ini hanya dapat memutuskan satu saluran kawat jaringan di dalam satu alat. Apabila diperlukan pemutus saluran tiga fasa maka dibutuhkan fuse sebanyak tiga buah.

a. Prinsip Kerja

Pada sistem distribusi fuse yang digunakan mempunyai prinsip kerja melebur, apabila dilewati oleh arus yang melebihi batas arus nominalnya. Biasanya fuse dipasang setelah PTS maupun LBS untuk memproteksi feeder dari gangguan hubung singkat dan dipasang seri dengan jaringan yang dilindunginya, fuse juga sering ditemukan pada setiap transformator.

Penggunaan fuse ini merupakan bagian yang terlemah di dalam jaringan distribusi. Karena fuse boleh dikatakan hanya berupa sehelai kawat yang memiliki penampang disesuaikan dengan besarnya arus maksimum yang diperkenankan mengalir di dalam kawat tersebut. Pemilihan kawat yang digunakan pada fuse ini didasarkan pada faktor lumer yang rendah dan harus memiliki daya hantar (conductivity) yang tinggi. Faktor lumer ini ditentukan oleh temperatur bahan tersebut. Biasanya bahan-bahan yang digunakan untuk fuse ini

adalah kawat perak, kawat tembaga, kawat seng, kawat timbel atau kawat paduan dari bahan – bahan tersebut. Pada umumnya diantara kawat diatas, yang sering digunakan adalah kawat logam perak, hal ini karena logam perak memiliki Resistansi Spesifik ($\mu\Omega/cm$) yang paling rendah dan Titik Lebur ($^{\circ}C$) yang rendah. Kawat ini dipasangkan di dalam tabung porselin yang diisi dengan pasir putih sebagai pemadam busur api, dan menghubungkan kawat tersebut pada kawat fasa, sehingga arus mengalir melaluinya.

Jika arus beban lebih melampaui batas yang diperkenankan, maka kawat perak di dalam tabung porselin akan putus dan arus yang membahayakan dapat dihentikan. Pada waktu kawat putus terjadi busur api, yang segera dipadamkan oleh pasir yang berada di dalam tabung porselin. Karena udara yang berada di dalam porselin itu kecil maka kemungkinan timbulnya ledakan akan berkurang karena diredam oleh pasir putih. Panas yang ditimbulkan sebagian besar akan diserap oleh pasir putih tersebut.

Apabila kawat perak menjadi lumer karena tenaga arus yang melebihi maksimum, maka waktu itu kawat akan hancur. Karena adanya gaya hentakan, maka tabung porselin akan terlempar keluar dari kontakannya. Dengan terlepasnya tabung porselin ini yang berfungsi sebagai saklar pemisah, maka terhidarlah peralatan jaringan distribusi dari gangguan arus beban lebih atau arus hubung singkat.

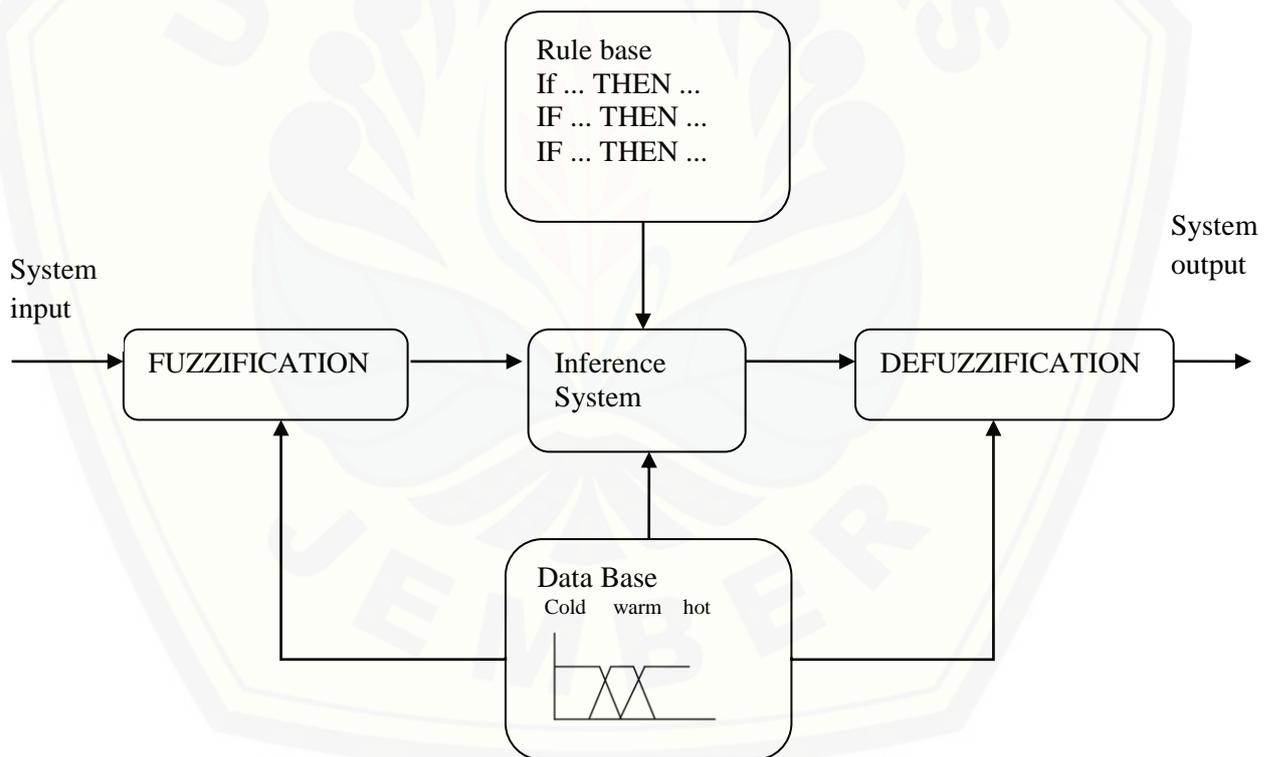
Umur dari fuse ini tergantung pada arus yang melaluinya. Bila arus yang melalui fuse tersebut melebihi batas maksimum, maka umur fuse lebih pendek. Oleh karena itu pemasangan fuse pada jaringan distribusi hendaknya yang memiliki kemampuan lebih besar dari kualitas tegangan jaringan, lebih kurang tiga sampai lima kali arus nominal yang diperkenankan. Fuse ini biasanya ditempatkan sebagai pengaman tansformator distribusi, dan pengaman pada cabang – cabang saluran feeder yang menuju ke jaringan distribusi sekunder

2.10 Fuzzy logic controller (FLC)

Konsep penggunaan *Fuzzy Logic* antara lain:

1. *Fuzzy Logic* umumnya diterapkan pada masalah-masalah yang mengandung unsur ketidakpastian (*uncertainty*), ketidaktepatan (*imprecise*), noisy, dan sebagainya.
2. *Fuzzy Logic* menjembatani bahasa mesin yang presisi dengan bahasa manusia yang menekankan pada makna atau arti (*significance*).
3. *Fuzzy Logic* dikembangkan berdasarkan cara berfikir manusia (Amar, 2014)

2.10.1 Arsitektur *Fuzzy Logic*



Gambar 2.9 Sruktir logika fuzzy

Ada tiga proses utama jika ingin mengimplementasikan *Fuzzy Logic* pada suatu perangkat, yaitu fuzzifikasi, evaluasi *rule*, dan defuzzifikasi.

1. *Fuzzification*, merupakan suatu proses untuk mengubah suatu masukan dari bentuk tegas(*crisp*) menjadi *fuzzy* yang biasanya disajikan dalam bentuk himpunan-himpunan *fuzzy* dengan suatu fungsi keanggotaannya masing-masing.
2. *Inference System* (evaluasi *rule*), merupakan sebagai acuan untuk menjelaskan hubungan antara variabel-variabel masukan dan keluaran yang mana variabel yang diproses dan yang dihasilkan berbentuk *fuzzy*. Untuk menjelaskan hubungan antara masukan dan keluaran biasanya menggunakan “IF-THEN”.
3. *Defuzzification*, merupakan proses pengubahan variabel berbentuk *fuzzy* tersebut menjadi data-data pasti (*crisp*) yang dapat dikirimkan ke peralatan pengendalian. (Amar, 2014)

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Adapun tempat dan waktu penelitian, pengujian dan analisis dilakukan secara umum dilakukan di :

Tempat : Laboratorium Sistem Tenaga Fakultas Teknik Universitas Jember

Alamat : Jalan Slamet Riyadi No.62, Patrang, Kabupaten Jember

Waktu penelitian “Evaluasi Koordinasi Setting Rele Proteksi Menggunakan Metode Fuzzy Logic Terhadap Penambahan Distributed Generation (DG) Dan Kapasitor Daya Pada Jaringan Distribusi Radial” dapat diuraikan dalam tabel penjadwalan berikut:

Tabel 3.1 Perencanaan Jadwal Penelitian

No	Kegiatan	Bulan															
		April				Mei				Juni				Juli			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi Literatur																
3	Pengumpulan Data																
4	Menentukan jumlah dan kapasitas DG dan kapasitor																
5	Menentukan lokasi gangguan																
6	Melakukan Pengujian																
7	Analisa Data																
8	Pengambilan Kesimpulan																
9	Penulisan Laporan																

3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang untuk penelitian adalah sebagai berikut :

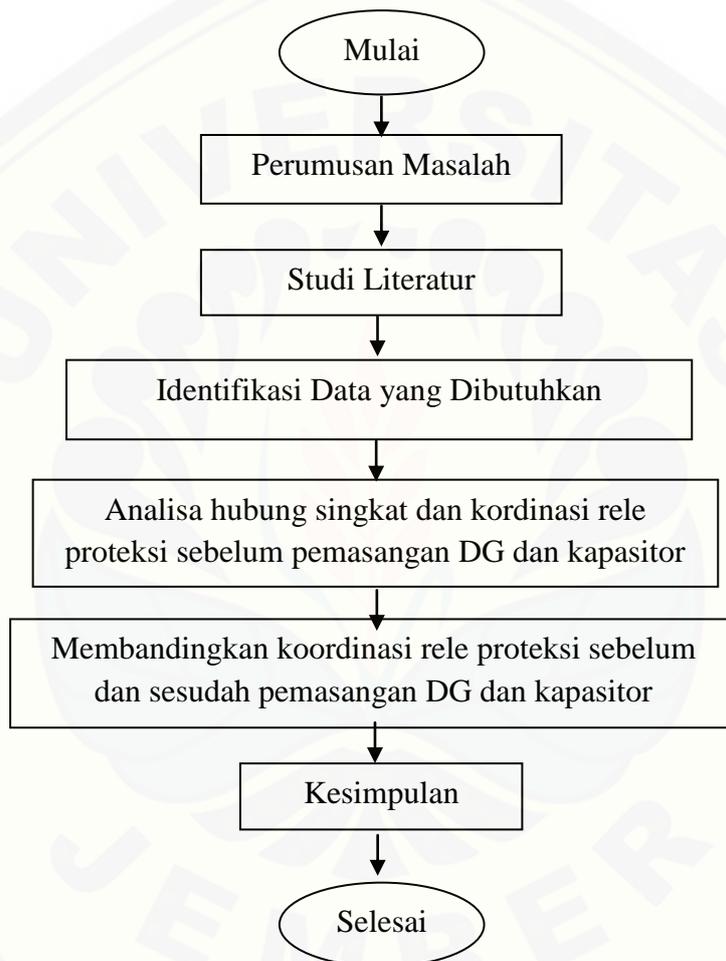
3.2.1 Alat

1. PC / Laptop .
2. *Software* MATLAB 2009a
3. ETAP 12.6

3.2.2 Bahan

1. Bahan-bahan yang diperoleh dari penelitian yang digunakan dalam pembuatan program ini adalah data resistansi dan reaktansi saluran yang digunakan dalam sistem distribusi serta data pembebanan dari penyulang watu ulo

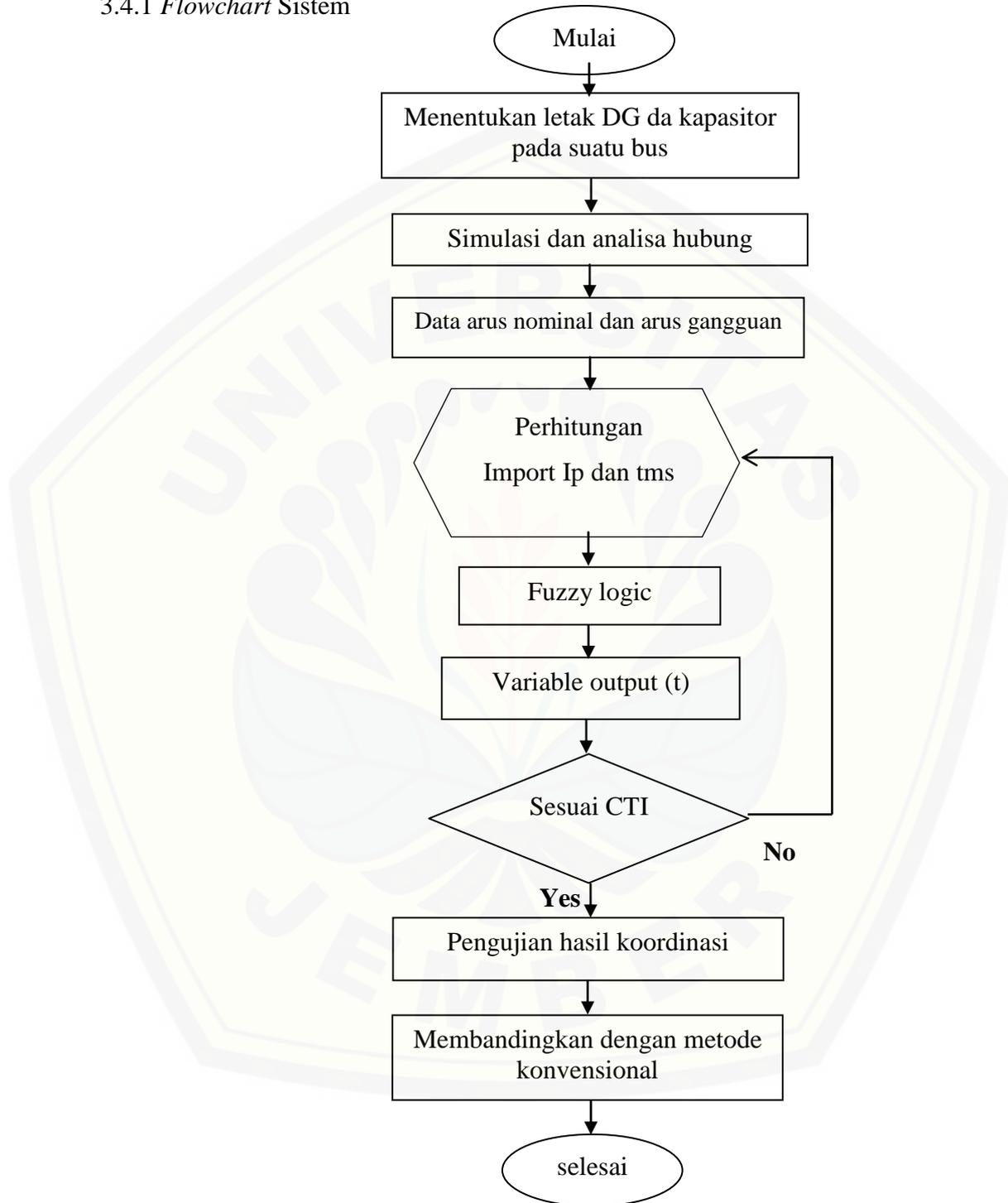
3.3 Tahapan Penelitian



Gambar 3.1 Tahapan Penelitian

3.4 RANCANGAN SISTEM

3.4.1 Flowchart Sistem



Gambar 3.2 Flowchart Sistem

3.4.2 Data Jaringan Distribusi Radial Penyulang Watu Ulo 75 Bus

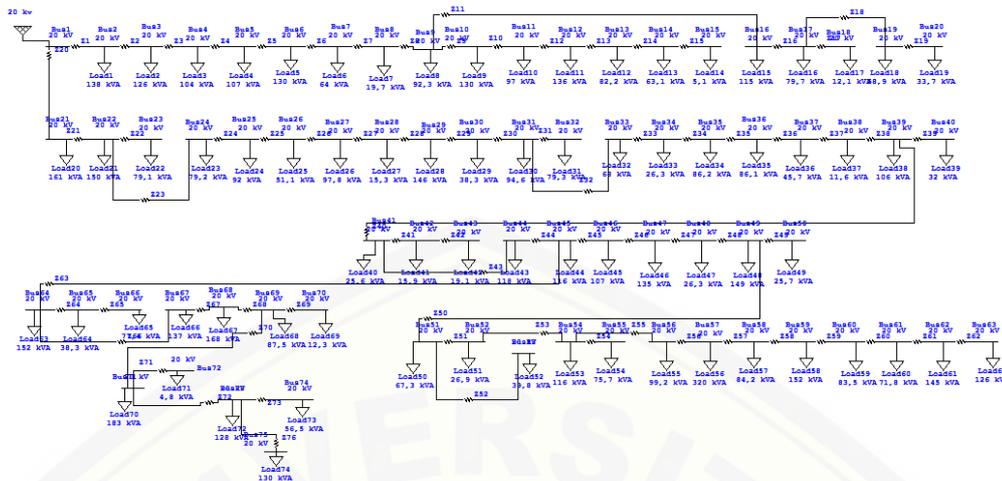
Penelitian ini menggunakan data dari jaringan distribusi radial Penyulang Watu Ulo 75 bus. Sistem ini menggunakan tegangan dasar (voltage base) 20 kV dan daya dasar (MVA base) sebesar 100 MVA. Untuk data impedansi jaringan pada tiap saluran diberikan pada Tabel 3.2 dan untuk data pembebanan ditunjukkan pada Tabel 3.3, sedangkan gambar dari jaringan distribusi radial penyulang watu ulo ditunjukkan pada gambar 3.2.

Tabel 3.2 Data Impedansi dan Beban pada Tiap Saluran

No.	Kode Gardu Trafo	Dari (Bus)	Ke (Bus)	Resistansi (pu)	Reaktansi (pu)	Daya (kVA)	Pembebanan (%)
1	GE022	1	2	0.9826	0.9001	150	91.8
2	GE017	2	3	0.0633	0.0808	150	84
3	GE202	3	4	0.0467	0.0595	100	104
4	GE006	4	5	0.0244	0.0311	200	53.6
5	GE092	5	6	0.0306	0.0390	160	81.3
6	GE007	6	7	0.0364	0.0464	160	40
7	GE215	7	8	0.0431	0.055	100	19.7
8	GE093	8	9	0.0272	0.0347	160	57.7
9	GE008	9	10	0.0601	0.0768	250	52
10	GE094	9	16	0.0298	0.038	160	60.6
11	GE025	10	11	0.0229	0.0292	200	68
12	GE103	11	12	0.0856	0.1092	150	54.8
13	GE102	12	13	0.0369	0.02903	100	63.1
14	GE169	13	14	0.3129	0.2187	100	10.2
15	GE 154	14	15	0.3531	0.0254	160	72.0
16	GE 089	16	17	0.1739	0.0750	100	79.7
17	GE 151	17	18	0.5776	0.2442	100	48.3
18	GE 090	17	19	0.3608	0.1506	160	36.8

19	GE 109	19	20	0.0407	0.0520	50	67.4
20	GE 015	1	21	0.9781	0.8944	250	80.4
21	GE 005	21	22	0.0258	0.0330	160	93.8
22	GE 142	22	23	0.0909	0.0116	100	79.1
23	GE 153	22	24	0.0218	0.0277	200	39.6
24	GE 110	24	25	0.0935	0.1192	160	57.5
25	GE 064	25	26	0.0408	0.0521	100	51.1
26	GE 065	26	27	0.0666	0.0850	160	61.1
27	GE 101	27	28	0.1131	0.1444	50	30.6
28	GE 077	28	29	0.0804	0.1026	160	91.2
29	GE 097	29	30	0.0489	0.0624	100	38.3
30	GE 070	30	31	0.1505	0.1885	160	59.1
31	GE 206	31	32	0.0365	0.0466	100	79.3
32	GE 071	31	33	0.0971	0.1239	160	42.5
33	GE 125	33	34	0.0846	0.1080	50	52.5
34	GE 011	34	35	0.0765	0.0976	160	53.8
35	GE 175	35	36	0.0558	0.0713	100	86.1
36	GE 012	36	37	0.0079	0.0101	160	45.7
37	GE 136	37	38	0.1022	0.0785	25	23.3
38	GE 122	38	39	0.1554	0.1465	160	66.3
39	GE 123	39	40	0.9822	0.1252	50	64.0
40	GE 013	39	41	0.0278	0.0355	160	16.0
41	GE 177	41	42	0.0474	0.0355	50	31.9
42	GE 179	42	43	0.1000	0.0469	50	38.2
43	GE 138	41	44	0.1034	0.0132	160	73.7
44	GE 014	44	45	0.0578	0.0738	160	84.7
45	GE 199	45	46	0.0502	0.0642	160	66.6
46	GE 083	46	47	0.0983	0.1256	160	84.5

47	GE 204	47	48	0.0327	0.0417	50	52.6
48	GE 060	48	49	0.0307	0.0417	200	74.4
49	GE 069	49	50	0.0446	0.0569	100	25.7
50	GE 098	49	51	0.1261	0.1088	100	67.3
51	GE 184	51	52	0.1258	0.0879	50	53.7
52	GE 044	52	53	0.3211	0.2281	50	79.5
53	GE 072	52	54	0.0885	0.0619	200	58.2
54	GE 124	54	55	0.1267	0.1229	160	47.3
55	GE 073	54	56	0.2416	0.1690	200	49.6
56	GE 197	56	57	0.0488	0.0400	400	80.0
57	GE 191	57	58	0.0700	0.0548	100	84.2
58	GE 074	58	59	0.0649	0.0454	200	75.9
59	GE 099	59	60	0.0512	0.0653	100	83.5
60	GE 111	60	61	0.0341	0.0435	100	71.8
61	GE 112	61	62	0.0717	0.1413	160	90.5
62	GE 113	62	63	0.1107	0.1413	160	79.0
63	GE 067	45	64	0.0493	0.0629	200	76.0
64	GE 185	64	65	0.0954	0.0357	50	76.7
65	GE 075	65	66	0.4364	0.1481	100	86.1
66	GE 020	64	67	0.0260	0.0332	200	68.4
67	GE 021	67	68	0.0570	0.0728	250	67.3
68	GE 214	68	69	0.0440	0.0526	100	87.5
69	GE 066	69	70	0.2130	0.1489	25	49.0
70	GE 023	69	71	0.0549	0.0384	250	73.3
71	GE 076	71	72	0.5912	0.2432	160	3.0
72	GE 207	71	73	0.1359	0.0950	160	80.0
73	GE 107	73	74	0.1196	0.0836	100	56.5
74	GE 024	73	75	0.0953	0.0666	160	81.3



Gambar 3.3 Jaringan Radial Penyulang Watu Ulo

3.4.3 Penyimulasian Sistem Jaringan penyulang watu ulo

Dalam penelitian kali ini, *software* yang digunakan ialah Etap 12.0 digunakan sebagai nalaisa aliran daya dan analisa hubung singkat dan Matlab R2009 untuk mendapatkan kordinasi waktu kerja rele proteksi.

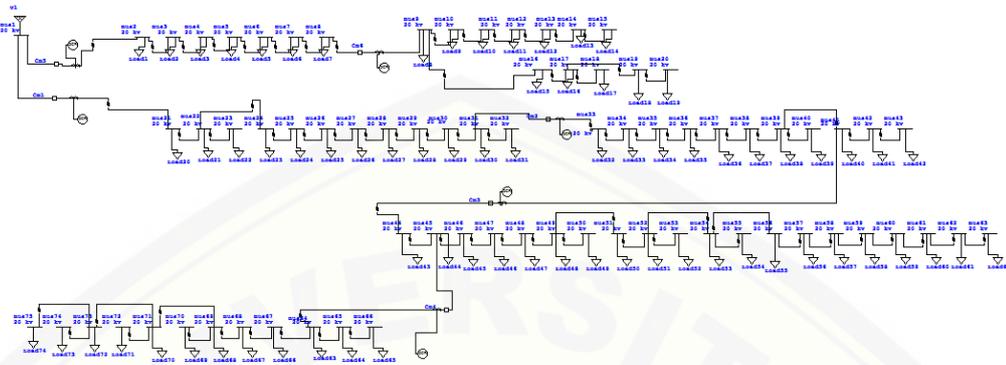
Dalam penelitain ini adapun ukuran kapasitas DG dan *Capasitor* serta desain rele pada penyulang watu ulo

Tabel 3.4 Data Kapasitas DG dan Capasitor

Sistem	DG		CAPASITOR	
	(KW)	BUS	(KVAR)	BUS
Penyulang watu ulo	300	2	200	2
	500	21	400	21
	100	30	800	30
	100	38	800	38
	100	27	800	27

Pada pada jaringan distribusi radial penyulang watu ulo ini akan ditambahkan sebuah Over Current Relay (OCR) di bus tertentu yang sudah tersedia pada library ETAP Powerstaton 12.6 yang digunakan sebagai perangkat proteksi jaringan. Rele arus lebih memiliki karakteristik waktu pemutusan cepat dan waktu pemutusan lambat, sehingga jika terjadi gangguan hubung singkat

pada jaringan akan teratasi. Untuk penempatan Over Current Relay (OCR) pada jaringan dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 3.4 Penempatan Over Current Relay (OCR) pada jaringan

Tabel 3.5 Data komponen proteksi

Nama	Bus pengirim	Bus penerima
OCR 1	1	21
OCR 2	31	33
OCR 3	41	44
OCR 4	45	64
OCR 5	1	2
OCR 6	8	9

3.4.4 Perancangan Setting Rele Menggunakan Fuzzy Logic

Dalam penelitian ini, kontroler yang digunakan adalah *fuzzy logic controller*. Adapun *input* dan *output* dari logika *fuzzy* dijelaskan sebagai berikut:

a. *Input*

Pada penentuan karakteristik input data ini adalah digunakan nilai I_p dan TMS dari perhitungan konvensional, kemudian membuat semesta pembicaraan untuk membatasi nilai dari setiap variable

Tabel 3.6 Data Masukan Kontroler *Fuzzy*

Input	
IP1	TMS1
IP2	TMS2
IP3	TMS3
IP4	TMS4
IP5	TMS5
IP6	TMS6

b. *Membership Function*

Pada penentuan karakteristik output data yang digunakan adalah nilai t (sekon) waktu operasi dari rumus IEC dengan standart IEC 60255-3. Untuk penentuan nilai t (sekon) kemudian membuat semesta pembicaraan untuk membatasi dari *Membership Function* dari variable t (sekon). Adapun fungsi keangotaan output t (sekon) dengan perhitungan

$$t = \frac{0.14}{((psm)^{0.02} - 1)} \times TMS$$

c. Rule

1. If (IP is IP1) and (TMS is TMS1) then (T(SEKON) is sangat_cepat) (1)
2. If (IP is IP1) and (TMS is TMS2) then (T(SEKON) is sangat_cepat) (1)
3. If (IP is IP1) and (TMS is TMS3) then (T(SEKON) is sangat_cepat) (1)
4. If (IP is IP1) and (TMS is TMS4) then (T(SEKON) is sangat_cepat) (1)
5. If (IP is IP1) and (TMS is TMS5) then (T(SEKON) is cepat) (1)
6. If (IP is IP1) and (TMS is TMS6) then (T(SEKON) is sedang) (1)
7. If (IP is IP2) and (TMS is TMS1) then (T(SEKON) is sangat_cepat) (1)
8. If (IP is IP2) and (TMS is TMS2) then (T(SEKON) is sangat_cepat) (1)
9. If (IP is IP2) and (TMS is TMS3) then (T(SEKON) is sangat_cepat) (1)
10. If (IP is IP2) and (TMS is TMS4) then (T(SEKON) is sangat_cepat) (1)
11. If (IP is IP2) and (TMS is TMS5) then (T(SEKON) is cepat) (1)

Gambar 3.5 rule

d. Analisis

Setelah melakukan simulasi dengan skema tersebut, akan dihasilkan *output* yang akan menunjukkan keluaran berdasarkan proses fuzifikasi menggunakan logika *fuzzy*.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

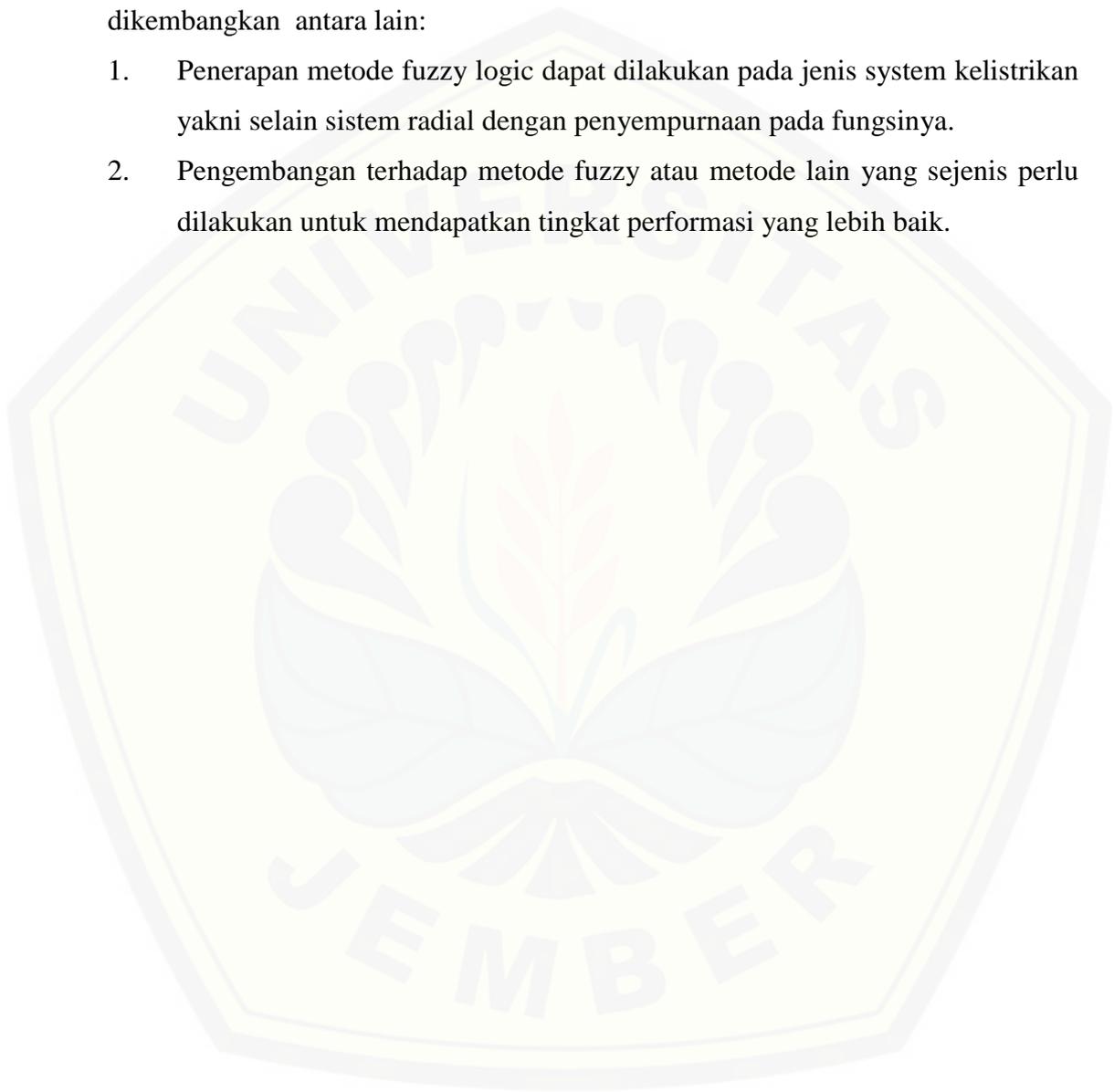
Berdasarkan penelitian dari hasil pengujian yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain:

1. Arus hubung singkat semakin berkurang apabila bus yang mengalami gangguan semakin mendekati ujung jaringan. Arus hubung singkat terbesar sebelum ditambahkannya DG terjadi pada bus 1 sebesar 12.926 A dan yang terendah terjadi di ujung jaringan yaitu di bus 75 dengan nilai 1.535 A
2. Arus hubung singkat semakin meningkat setelah penambahan DG dan kapasitor daya, hal ini dikarenakan arus gangguan yang mengalir tidak hanya dari sumber (gardu induk) melainkan juga berasal dari generator itu sendiri. Pada bus 1 nilai gangguan hubung singkat sebesar 12.926 A, setelah penambahan nilai arus gangguan sebesar 23,105 A.
3. Setting menggunakan fuzzy logic dapat mewakili perhitungan menggunakan metode konvensional. Hal ini dibuktikan dengan hasil pengujian setting fuzzy pada penyulang watu ulu 75 bus menggunakan Tool Star Protection pada ETAP untuk koordinasi proteksinya. Saat menggunakan metode konvensional waktu kerja rele dengan nilai 2.507 s; 2.1 s; 1.676 s; 1.275s; 1.16 s; 0.783 s pada saat menggunakan fuzzy logic bernilai 1.4 s; 1.0 s ; 0.6 s ; 0.2 s; 0.6 s ; 0.2 s.
4. Hasil optimasi menggunakan metode fuzzy logic mendapatkan waktu operasi rele yang lebih cepat di bandingkan dengan metode konvensional. Saat menggunakan metode konvensional saat setelah penambahan DG dan kapasitor bernilai 1.98 s; 1.502 s; 1.129 s; 1.09 s; 0.98 s; 0.737 s sedangkan pada saat menggunakan fuzzy logic dengan nilai 1.46 s; 1.0 s; 0.63 s; 0.24 s; 0.55 s; 0.25 s.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada tugas akhir ini, penulis menyadari banyak kekurangan dan kesalahan, sehingga penyempurnaan kedepannya sangat dibutuhkan agar sistem terkordinasi dengan baik. maka dapat dikembangkan antara lain:

1. Penerapan metode fuzzy logic dapat dilakukan pada jenis system kelistrikan yakni selain sistem radial dengan penyempurnaan pada fungsinya.
2. Pengembangan terhadap metode fuzzy atau metode lain yang sejenis perlu dilakukan untuk mendapatkan tingkat performasi yang lebih baik.



DAFTAR PUSTAKA

Mohammad H. Moradi.2014.*An Efficient Hibrid Method For Solving The Optimal Sittng And Sizing Problem Of DG And Shunt Capasitor Bank Simultanously Based On Imperialist Competitive Algoritm And Genetic Algorithn*. Jurnal volume 101-111

Abdel-Ghany, Hossam A. 2015. *Defining the Practical Constraints of Inserting DG Units in Distribution Sistems Regarding Protection Schemes*. International Transactions on Electrical Energy Sistems.

Dinesh Birla, Rudra Prakash Maheshwari, dan Hari Om Gupta.2005. *Time Overcurrent Relay Cordination: A Review*. International Journal Of Emerging Electrical Power System. Article 1039.

Ariel, Giovanni.J. 2011. *Perencanaan Koordinasi Rele Arus Lebih Pada Perusahaan Jumlah Pembangkit Listrik Di Daerah Operasi CNOOC SES LTD Bagian Utara*. Jakarta: Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia

Hasbullah,Mohamad. 2016. *Analisis Pengaruh Penambahan Distributed Generation (DG) Pada Jaringan Distribusi Radial Terhadap Koordinasi Proteksi*. Jember. Universitas Jember.

Dani Bramipurwosetyo, Margo Pujiantara, Heri Suryoatmojo. *Koordinasi Rele Proteksi Rele Arus Lebih Dengan Fuzzy Logic Menggunakan Plant PT, KPI*. Surabaya:jurusan teknik elektro ITS

Adhiyatma, Singgih. 2014. *Analisi Penambahan Distributed Generation (DG) dengan Metode Backward Forward Sweep pada Sistem Distribusi Radial Terhadap Rugi Daya dan Profil Tegangan (Studi Kasus pada Penyulang Watu Ulo Jember)*. Jember. Universitas Jember.

Agheli, Ali. 2010. *Reducing the Impact of DG in Distribution Networks Protection Using Fault Current Limiters*. The 4th International Power Engineering and Optimization Conf. (PEOCO2010), Shah Alam, Selangor, Malaysia: 23-24 June 2010: 298-303.

Vipul N Rajput, Rashesh P. Metha, Bhuvanesh A. Oza. 2011. *Coordination Of Overcurrent Relay For Industrial Radial System*. Gujarat: Elektrical Engg. Dept., BVM Engg. Collage, V.V Nagar

Hussain, B; Sharkh, S.M; Hussain, S; Abusara, M.A. 2013. *An Adaptive Relaying Scheme for Fuse Saving in Distribution Networks with Distributed Generation*. IEEE Trans. Power Del., vol. 28 (2): 669-777.

Kamel, A; Alaam, M.A; Azmy, A.M; Abdelaziz, A.Y. 2013. *Protection Coordination for Distribution Systems in Presence of Distributed Generators*. Electr. Power Com-pon. Syst. 41 (15): 1555–1566.



LAMPIRAN

LAMPIRAN 1
TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS JEMBER

1. Perhitungan Kordinasi Rele Arus Lebih Menggunakan Metode Konvensional
(sebelum penambahan DG dan Capacitor)

➤ **OCR 1**

$$n_{CT} = 300/5$$

$$I_p = 285,4$$

$$I_{sc \text{ min}} = 5.966$$

$$I_{sc \text{ max}} = 12.962$$

Perhitungan nilai waktu operasi rele **OCR 1**

$$\begin{aligned} CMS &= \frac{IP}{CT_{Primary}} \times 100\% \\ &= \frac{285,4}{300} \times 100\% \\ &= 95 \% \text{ (setting yang dipilih } 100 \%) \end{aligned}$$

$$I_{setting} = CMS \times I_n$$

$$= 1 \times 5$$

$$= 5$$

$$PSM = \frac{I_{sc \text{ maks}}}{I_{setting} \times n_{CT}}$$

$$= \frac{12.926}{5 \times 60}$$

$$= 43,1$$

$$T_m = \frac{0.14}{PSM^{0.02-1}}$$

$$= \frac{0.14}{43.1^{0.02-1}}$$

$$= 1.79$$

$$TMS = \frac{2.5}{1.79}$$

$$= 1.4$$

Perhitungan waktu operasi ocr 1

$$T = \frac{0.14}{psm^{0.02-1}} \times TMS$$

$$= \frac{0.14}{43.1^{0.02-1}} \times 1.4 = 1.55 \text{ s}$$

➤ **OCR 2**

$$nCT = 200/5$$

$$I_p = 175.1$$

$$I_{sc \text{ min}} = 2.533$$

$$I_{sc \text{ max}} = 3.043$$

Perhitungan nilai waktu operasi rele **OCR 2**

$$\begin{aligned} CMS &= \frac{IP}{CT_{Primary}} \times 100\% \\ &= \frac{175.1}{200} \times 100\% \\ &= 87\% \text{ (setting yang tersedia 100\%)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{setting} &= CMS \times I_n \\ &= 0.9 \times 5 \\ &= 4,5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PSM &= \frac{I_{sc \text{ maks}}}{I_{setting} \times nCT} \\ &= \frac{3.043}{4,5 \times 40} \\ &= 17 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_m &= \frac{0.14}{PSM^{0.02-1}} \\ &= \frac{0.14}{17^{0.02-1}} \\ &= 2,4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} TMS &= \frac{2,1}{2,4} \\ &= 0.875 \end{aligned}$$

Perhitungan waktu operasi ocr 2

$$\begin{aligned} T &= \frac{0.14}{psm^{0.02-1}} \times TMS \\ &= \frac{0.14}{17^{0.02-1} \times 0.68} \\ &= 2,1 \text{ s} \end{aligned}$$

➤ **OCR 3**

$$nCT = 150/5$$

$$I_p = 138,39$$

$$I_{sc \text{ min}} = 2.012$$

$$I_{sc \max} = 2.277$$

Perhitungan nilai waktu operasi rele **OCR 3**

$$\begin{aligned} CMS &= \frac{IP}{CT_{Primary}} \times 100\% \\ &= \frac{138,39}{150} \times 100\% \\ &= 93 \% \text{ (setting yang tersedia 100\%)} \end{aligned}$$

$$I_{setting} = CMS \times I_n$$

$$= 1 \times 5$$

$$= 5$$

$$PSM = \frac{I_{sc \max}}{I_{setting} \times nCT}$$

$$= \frac{2.277}{5 \times 30}$$

$$= 15.2$$

$$T_m = \frac{0.14}{PSM^{0.02-1}}$$

$$= \frac{0.14}{15,2^{0.02-1}}$$

$$= 2.504$$

$$TMS = \frac{1.675}{2,504}$$

$$= 0.67$$

Perhitungan waktu operasi ocr 3

$$T = \frac{0.14}{psm^{0.02-1}} \times TMS$$

$$= \frac{0.14}{15.2^{0.02-1} \times 0.67}$$

$$= 1.677s$$

➤ **OCR 4**

$$nCT = 150/5$$

$$I_p = 127,4$$

$$I_{sc \min} = 1,942$$

$$I_{sc \max} = 2,191$$

Perhitungan nilai waktu operasi rele **OCR 4**

$$CMS = \frac{IP}{CT_{Primary}} \times 100\%$$

$$= \frac{127,4}{150} \times 100\%$$

$$= 84,98 \% \text{ (setting yang tersedia 100\%)}$$

$$I_{\text{setting}} = \text{CMS} \times I_n$$

$$= 1 \times 5$$

$$= 5$$

$$\text{PSM} = \frac{I_{\text{scmaks}}}{I_{\text{setting}} \times nCT}$$

$$= \frac{2.191}{5 \times 30}$$

$$= 14,6$$

$$T \text{ (TMS dipilih 0.5)} = \frac{0.14}{\text{psm}^{0.02-1}} \times TMS$$

$$= \frac{0.14}{14,6^{0.02-1}} \times 0.5$$

$$= 1,27 \text{ s}$$

➤ **OCR 5**

$$nCT = 300/5$$

$$I_p = 285,4$$

$$I_{\text{sc min}} = 5.966$$

$$I_{\text{sc max}} = 12.962$$

Perhitungan nilai waktu operasi rele **OCR 5**

$$\text{CMS} = \frac{I_p}{CT_{\text{Primary}}} \times 100\%$$

$$= \frac{285,4}{300} \times 100\%$$

$$= 95 \% \text{ (setting yang dipilih 100 \%)}$$

$$I_{\text{setting}} = \text{CMS} \times I_n$$

$$= 1 \times 5$$

$$= 5$$

$$\text{PSM} = \frac{I_{\text{scmaks}}}{I_{\text{setting}} \times nCT}$$

$$= \frac{12.926}{5 \times 60}$$

$$= 43,1$$

$$T_m = \frac{0.14}{\text{PSM}^{0.02-1}}$$

$$= \frac{0.14}{43.1^{0.02-1}}$$

$$= 1.79$$

$$\text{TMS} = \frac{1.18}{1.79}$$

$$= 0.65$$

Perhitungan waktu operasi ocr 5

$$T = \frac{0.14}{psm^{0.02-1}} \times TMS$$

$$= \frac{0.14}{43.1^{0.02-1}} \times 0.65$$

$$= 1.16 \text{ s}$$

➤ **OCR 6**

$$nCT = 100/5$$

$$I_p = 49.56$$

$$I_{sc \text{ min}} = 2.805$$

$$I_{sc \text{ max}} = 3.608$$

Perhitungan nilai waktu operasi rele **OCR 6**

$$\text{CMS} = \frac{I_p}{CT_{Primary}} \times 100\%$$

$$= \frac{49.56}{100} \times 100\%$$

$$= 50 \%$$

$$\text{Isetting} = \text{CMS} \times I_n$$

$$= 0.5 \times 5$$

$$= 2.5$$

$$\text{PSM} = \frac{I_{sc \text{ maks}}}{I_{setting} \times nCT}$$

$$= \frac{3.608}{2.5 \times 20}$$

$$= 72.16$$

$$T (\text{TMS dipilih } 0.5) = \frac{0.14}{psm^{0.02-1}} \times TMS$$

$$= \frac{0.14}{72.16^{0.02-1}} \times 0.5$$

$$= 0.783 \text{ s}$$

2. Data Arus Beban Maksimum (Full Load Amper) Pada Jaringan Penyulang Watu Ulo 75 Bus Menggunakan Etap 12.6 (sebelum penambahan DG dan Capacitor)

Dari Bus	Ke Bus	FLA
1	2	271,8
2	3	71,1
3	4	67,3
4	5	63,3
5	6	61,6
6	7	55,9
7	8	51,7
8	9	47,2
9	10	44,5
9	16	26,9
10	11	19,8
11	12	15,3
12	13	9,7
13	14	5,5
14	15	2,9
16	17	15,9
17	18	11,4
17	19	2,9
19	20	5,9
1	21	1,4
21	22	200,8
22	23	193,9
22	24	2,8
24	25	187,1

25	26	181,8
26	27	177,3
27	28	174,6
28	29	170,1
29	30	168,8
30	31	164,7
31	32	162,1
31	33	2,8
33	34	155
34	35	150,7
35	36	149,4
36	37	145,1
37	38	142,4
38	39	138,2
39	40	137,6
39	41	1,4
41	42	131,8
42	43	2,7
41	44	1,4
44	45	125,7
45	46	121,4
46	47	70,7
47	48	66,3
48	49	62,1
49	50	60,7
49	51	2,7
51	52	52,9
52	53	50,2
52	54	1,4
54	55	47,5

54	56	4,4
56	57	38,1
57	58	33,1
58	59	22,2
59	60	19,5
60	61	14,1
61	62	11,3
62	63	8,7
45	64	4,4
64	65	46,4
65	66	4,1
64	67	2,7
67	68	37
68	69	31,5
69	70	24,7
69	71	0,7
71	72	21,4
71	73	4,4
73	74	11,4
73	75	2,7

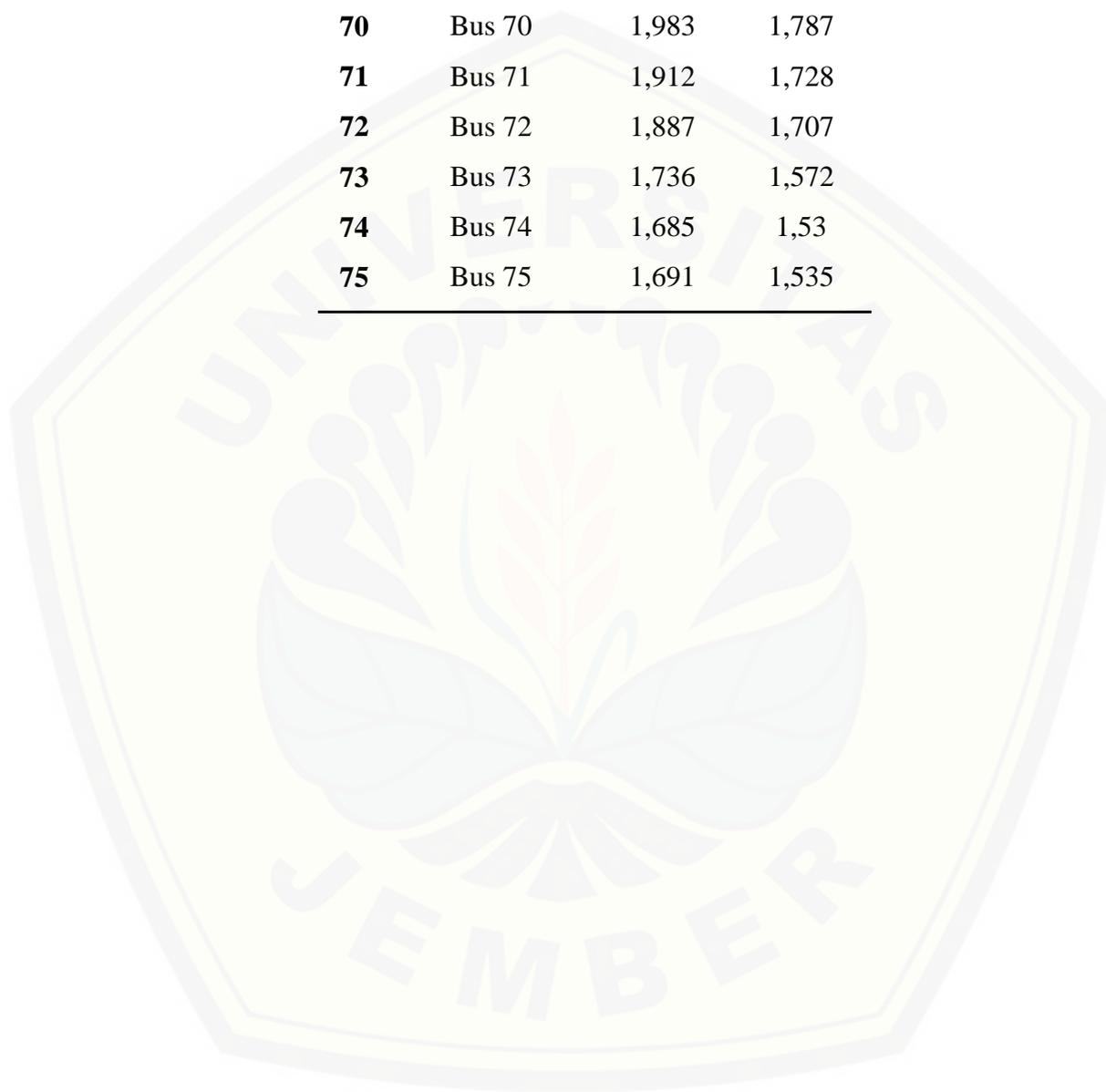
3. Data Arus Hubung Singkat Pada Jaringan Penyulang Watu Ulo 75 Bus Menggunakan Etap 12.6 (sebelum penambahan DG dan Capacitor)

No	Lokasi Gangguan	$I_{SC \max}$ (A)	$I_{SC \min}$ (A)
1	Bus 1	12,926	5,966
2	Bus 2	4,83	3,488
3	Bus 3	4,577	3,37
4	Bus 4	3,942	2,982
5	Bus 5	3,878	2,949

6	Bus 6	3,8	2,908
7	Bus 7	3,711	2,86
8	Bus 8	3,608	2,805
9	Bus 9	3,546	2,771
10	Bus 10	3,415	2,698
11	Bus 11	3,148	2,512
12	Bus 12	3,098	2,482
13	Bus 13	3,06	2,46
14	Bus 14	2,925	2,379
15	Bus 15	2,685	2,245
16	Bus 16	3,11	2,506
17	Bus 17	2,948	2,399
18	Bus 18	2,516	2,102
19	Bus 19	2,663	2,205
20	Bus 20	2,612	2,172
21	Bus 21	4,849	3,497
22	Bus 22	4,742	3,448
23	Bus 23	4,596	3,361
24	Bus 24	4,656	3,407
25	Bus 25	4,311	3,24
26	Bus 26	4,174	3,171
27	Bus 27	3,966	3,063
28	Bus 28	3,652	2,893
29	Bus 29	3,454	2,781
30	Bus 30	3,343	2,716
31	Bus 31	3,043	2,533
32	Bus 32	2,976	2,492
33	Bus 33	2,872	2,425
34	Bus 34	2,737	2,337
35	Bus 35	2,624	2,262

36	Bus 36	2,547	2,21
37	Bus 37	2,537	2,202
38	Bus 38	2,449	2,137
39	Bus 39	2,307	2,033
40	Bus 40	2,204	1,959
41	Bus 41	2,277	2,012
42	Bus 42	2,243	1,985
43	Bus 43	2,195	1,945
44	Bus 44	2,25	1,984
45	Bus 45	2,191	1,942
46	Bus 46	2,143	1,906
47	Bus 47	2,051	1,839
48	Bus 48	2,023	1,818
49	Bus 49	1,997	1,798
50	Bus 50	1,96	1,771
51	Bus 51	1,924	1,74
52	Bus 52	1,866	1,693
53	Bus 53	1,732	1,581
54	Bus 54	1,827	1,66
55	Bus 55	1,76	1,606
56	Bus 56	1,73	1,579
57	Bus 57	1,709	1,562
58	Bus 58	1,681	1,538
59	Bus 59	1,658	1,52
60	Bus 60	1,63	1,497
61	Bus 61	1,611	1,482
62	Bus 62	1,573	1,452
63	Bus 63	1,517	1,407
64	Bus 64	2,144	1,907
65	Bus 65	2,107	1,875

66	Bus 66	1,96	1,746
67	Bus 67	2,119	1,889
68	Bus 68	2,067	1,851
69	Bus 69	2,018	1,814
70	Bus 70	1,983	1,787
71	Bus 71	1,912	1,728
72	Bus 72	1,887	1,707
73	Bus 73	1,736	1,572
74	Bus 74	1,685	1,53
75	Bus 75	1,691	1,535



4. Perhitungan Kordinasi Rele Arus Lebih Menggunakan Metode Konvensional
(sesudah penambahan DG dan Capacitor)

➤ **OCR 1**

$$nCT = 300/5$$

$$I_p = 285,4$$

$$I_{sc \text{ min}} = 3.392$$

$$I_{sc \text{ max}} = 23.105$$

Perhitungan nilai waktu operasi rele **OCR 1**

$$\begin{aligned} CMS &= \frac{IP}{CT_{Primary}} \times 100\% \\ &= \frac{269,5}{300} \times 100\% \\ &= 90\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{setting} &= CMS \times I_n \\ &= 0,9 \times 5 \\ &= 4,5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PSM &= \frac{I_{sc \text{ maks}}}{I_{setting} \times nCT} \\ &= \frac{23.105}{4,5 \times 60} \\ &= 77 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_m &= \frac{0.14}{PSM^{0.02-1}} \\ &= \frac{0.14}{77^{0.02-1}} \\ &= 0.15 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} TMS &= \frac{1,925}{0,15} \\ &= 0.98 \end{aligned}$$

Perhitungan waktu operasi ocr 1

$$\begin{aligned} T &= \frac{0.14}{psm^{0.02-1}} \times TMS \\ &= \frac{0.14}{77^{0.02-1}} \times 0,65 \\ &= 1.98 \text{ s} \end{aligned}$$

➤ **OCR 2**

$$nCT = 200/5$$

$$I_p = 168.84$$

$$I_{sc \text{ min}} = 2.139$$

$$I_{sc \text{ max}} = 4.220$$

Perhitungan nilai waktu operasi rele **OCR 2**

$$\begin{aligned} CMS &= \frac{IP}{CT_{Primary}} \times 100\% \\ &= \frac{168.84}{200} \times 100\% \\ &= 84 \% \text{ (setting yang tersedia 90\%)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{setting} &= CMS \times I_n \\ &= 0.9 \times 5 \\ &= 4,5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PSM &= \frac{I_{sc \text{ maks}}}{I_{setting} \times nCT} \\ &= \frac{4.220}{4,5 \times 40} \\ &= 23,5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_m &= \frac{0.14}{PSM^{0.02-1}} \\ &= \frac{0.14}{23,5^{0.02-1}} \\ &= 2,15 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} TMS &= \frac{1,529}{2,15} \\ &= 0.71 \end{aligned}$$

Perhitungan waktu operasi ocr 2

$$\begin{aligned} T &= \frac{0.14}{psm^{0.02-1}} \times TMS \\ &= \frac{0.14}{23,5^{0.02-1}} \times 0.71 \\ &= 1.525 \text{ s} \end{aligned}$$

➤ **OCR 3**

$$nCT = 150/5$$

$$I_p = 132$$

$$I_{sc \text{ min}} = 1,852$$

$$I_{sc \text{ max}} = 3,181$$

Perhitungan nilai waktu operasi rele **OCR 3**

$$\begin{aligned} \text{CMS} &= \frac{IP}{CT_{\text{Primary}}} \times 100\% \\ &= \frac{138,39}{150} \times 100\% \\ &= 93 \% \text{ (setting yang tersedia 100\%)} \end{aligned}$$

$$\text{Isetting} = \text{CMS} \times \text{In}$$

$$= 1 \times 5$$

$$= 5$$

$$\text{PSM} = \frac{I_{\text{scmaks}}}{\text{Isetting} \times n_{\text{CT}}}$$

$$= \frac{3,181}{5 \times 30}$$

$$= 21,2$$

$$T_m = \frac{0,14}{\text{PSM}^{0,02-1}}$$

$$= \frac{0,14}{21,2^{0,02-1}}$$

$$= 2,25$$

$$\text{TMS} = \frac{1,13}{2,25}$$

$$= 0,508$$

Perhitungan waktu operasi ocr 3

$$\begin{aligned} T &= \frac{0,14}{\text{psm}^{0,02-1}} \times \text{TMS} \\ &= \frac{0,14}{21,2^{0,02-1} \times 0,68} \times 0,508 \\ &= 1,129 \text{ s} \end{aligned}$$

➤ **OCR 4**

$$n_{\text{CT}} = 150/5$$

$$I_p = 127,4$$

$$I_{\text{sc min}} = 1,799$$

$$I_{\text{sc max}} = 3,032$$

Perhitungan nilai waktu operasi rele **OCR 4**

$$\begin{aligned} \text{CMS} &= \frac{IP}{CT_{\text{Primary}}} \times 100\% \\ &= \frac{127,4}{150} \times 100\% \\ &= 84,98 \% \end{aligned}$$

$$I_{\text{setting}} = \text{CMS} \times I_n$$

$$= 0.9 \times 5$$

$$= 4,5$$

$$\text{PSM} = \frac{I_{\text{scmaks}}}{I_{\text{setting}} \times nCT}$$

$$= \frac{3,032}{4,5 \times 30}$$

$$= 22.45$$

$$T \text{ (TMS dipilih 0.5)} = \frac{0.14}{\text{psm}^{0.02-1}} \times TMS$$

$$= \frac{0.14}{22,45^{0.02-1}} \times 0.5$$

$$= 1,09 \text{ s}$$

➤ **OCR 5**

$$nCT = 300/5$$

$$I_p = 269,5$$

$$I_{\text{sc min}} = 3.392$$

$$I_{\text{sc max}} = 23.105$$

Perhitungan nilai waktu operasi rele **OCR 5**

$$\text{CMS} = \frac{I_p}{CT_{\text{Primary}}} \times 100\%$$

$$= \frac{269,5}{300} \times 100\%$$

$$= 90 \%$$

$$I_{\text{setting}} = \text{CMS} \times I_n$$

$$= 0,9 \times 5$$

$$= 4,5$$

$$\text{PSM} = \frac{I_{\text{scmaks}}}{I_{\text{setting}} \times nCT}$$

$$= \frac{23.105}{4,5 \times 60}$$

$$= 77$$

$$T_m = \frac{0.14}{\text{PSM}^{0.02-1}}$$

$$= \frac{0.14}{77^{0.02-1}}$$

$$= 0.15$$

$$\begin{aligned} TMS &= \frac{1.14}{0,15} \\ &= 7.6 \end{aligned}$$

Perhitungan waktu operasi ocr 5

$$\begin{aligned} T &= \frac{0.14}{psm^{0.02-1}} \times TMS \\ &= \frac{0.14}{77^{0.02-1}} \times 0,65 \\ &= 1.16 \text{ s} \end{aligned}$$

➤ **OCR 6**

$$nCT = 100/5$$

$$Ip = 49.56$$

$$I_{sc \text{ min}} = 2,173$$

$$I_{sc \text{ max}} = 4,645$$

Perhitungan nilai waktu operasi rele **OCR 6**

$$\begin{aligned} CMS &= \frac{IP}{CTPrimary} \times 100\% \\ &= \frac{49.56}{100} \times 100\% \\ &= 50 \% \end{aligned}$$

$$I_{setting} = CMS \times I_n$$

$$= 0,5 \times 5$$

$$= 2,5$$

$$PSM = \frac{I_{sc \text{ maks}}}{I_{setting} \times nCT}$$

$$= \frac{4,645}{2,5 \times 20}$$

$$= 92.9$$

$$T \text{ (TMS dipilih 0.5)} = \frac{0.14}{psm^{0.02-1}} \times TMS$$

$$= \frac{0.14}{92.9^{0.02-1}} \times 0.5$$

$$= 0,737 \text{ s}$$

5. Data Arus Beban Maksimum (Full Load Amper) Pada Jaringan Penyulang Watu Ulo 75 Bus Menggunakan Etap 12.6 (setelah penambahan DG dan Capacitor)

Dari Bus	Ke Bus	FLA
1	2	256,6
2	3	71,1
3	4	67,3
4	5	63,3
5	6	61,7
6	7	56,0
7	8	51,7
8	9	47,2
9	10	44,5
9	16	27,0
10	11	19,8
11	12	15,3
12	13	9,7
13	14	5,5
14	15	2,9
16	17	15,9
17	18	11,4
17	19	2,9
19	20	5,9
1	21	1,4
21	22	197,9
22	23	190,9
22	24	2,8
24	25	184,1
25	26	178,8

26	27	174,3
27	28	171,6
28	29	167,1
29	30	165,9
30	31	163,4
31	32	160,8
31	33	2,8
33	34	153,6
34	35	149,4
35	36	148,0
36	37	143,7
37	38	141,0
38	39	138,4
39	40	137,8
39	41	1,4
41	42	132,0
42	43	2,7
41	44	1,4
44	45	125,9
45	46	121,6
46	47	70,8
47	48	66,4
48	49	62,2
49	50	60,8
49	51	2,7
51	52	53,0
52	53	50,3
52	54	1,4
54	55	47,6
54	56	4,4

56	57	38,2
57	58	33,1
58	59	22,2
59	60	19,5
60	61	14,1
61	62	11,3
62	63	8,7
45	64	4,4
64	65	46,5
65	66	4,1
64	67	2,7
67	68	37,0
68	69	31,6
69	70	24,7
69	71	0,7
71	72	21,5
71	73	4,4
73	74	11,4
73	75	2,7

6. Data Arus Hubung Singkat Pada Jaringan Penyulang Watu Ulo 75 Bus Menggunakan Etap 12.6 (setelah penambahan DG dan Capacitor)

No	Lokasi Gangguan	$I_{SC \max}$ (A)	$I_{SC \min}$ (A)
1	Bus 1	23,105	3,392
2	Bus 2	6,575	2,521
3	Bus 3	6,23	2,473
4	Bus 4	5,055	2,252
5	Bus 5	4,976	2,238
6	Bus 6	4,88	2,219

7	Bus 7	4,77	2,198
8	Bus 8	4,645	2,173
9	Bus 9	4,569	2,157
10	Bus 10	4,41	2,124
11	Bus 11	3,932	2,000
12	Bus 12	3,873	1,986
13	Bus 13	3,829	1,975
14	Bus 14	3,673	1,935
15	Bus 15	3,468	1,887
16	Bus 16	3,97	2,017
17	Bus 17	3,73	1,952
18	Bus 18	3,107	1,766
19	Bus 19	3,315	1,831
20	Bus 20	3,258	1,815
21	Bus 21	6,622	2,552
22	Bus 22	6,476	2,533
23	Bus 23	6,189	2,485
24	Bus 24	6,358	2,517
25	Bus 25	5,894	2,451
26	Bus 26	5,711	2,423
27	Bus 27	5,434	2,378
28	Bus 28	5,02	2,305
29	Bus 29	4,761	2,256
30	Bus 30	4,616	2,227
31	Bus 31	4,22	2,139
32	Bus 32	4,133	2,118
33	Bus 33	3,997	2,085
34	Bus 34	3,82	2,04
35	Bus 35	3,673	2,001
36	Bus 36	3,572	1,974

37	Bus 37	3,559	1,970
38	Bus 38	3,424	1,929
39	Bus 39	3,22	1,864
40	Bus 40	3,085	1,821
41	Bus 41	3,181	1,852
42	Bus 42	3,129	1,834
43	Bus 43	3,041	1,802
44	Bus 44	3,107	1,824
45	Bus 45	3,032	1,799
46	Bus 46	2,969	1,778
47	Bus 47	2,853	1,738
48	Bus 48	2,816	1,725
49	Bus 49	2,783	1,713
50	Bus 50	2,736	1,696
51	Bus 51	2,676	1,672
52	Bus 52	2,584	1,636
53	Bus 53	2,376	1,549
54	Bus 54	2,524	1,611
55	Bus 55	2,43	1,573
56	Bus 56	2,372	1,547
57	Bus 57	2,342	1,535
58	Bus 58	2,3	1,517
59	Bus 59	2,268	1,503
60	Bus 60	2,232	1,488
61	Bus 61	2,209	1,478
62	Bus 62	2,162	1,457
63	Bus 63	2,093	1,427
64	Bus 64	2,97	1,778
65	Bus 65	2,9	1,751
66	Bus 66	2,617	1,639

67	Bus 67	2,939	1,767
68	Bus 68	2,873	1,744
69	Bus 69	2,809	1,722
70	Bus 70	2,763	1,705
71	Bus 71	2,643	1,658
72	Bus 72	2,603	1,642
73	Bus 73	2,32	1,52
74	Bus 74	2,246	1,488
75	Bus 75	2,255	1,491

