

PROPOSAL PENELITIAN

**PENINGKATAN KINERJA RELAI ARAH PADA SISTEM
SALURAN TRANSMISI UDARA**

Disusun dan Diajukan oleh:

INDRI NIRWANA

D032 192 002



Dosen Pembimbing

Yusri Syam Akil, S.T, M.T, Ph.D

**PROGRAM PASCA SARJANA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

GOWA

2021

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Segala puji selalu dipanjatkan kepada Allah SWT Yang Maha Kuasa yang telah memberikan rahmat, hidayah dan pertolongan-nya dalam menyelesaikan proposal tesis, yang berjudul “Peningkatan Kinerja Relai Arah Pada Sistem Saluran Transmisi Udara” Tak lupa pula shalawat dan salam kita kirimkan kepada junjungan besar kita Nabi Muhammad SAW yang telah menyinari dunia ini dengan keindahan ilmu dan akhlak yang diajarkan kepada seluruh umatnya.

Ucapan terima kasihpun penulis haturkan kepada dosen pembimbing proposal bapak Yusri Syam Akil, S.T, M.T, Ph.D yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing dan berkonsultasi tentang materi dalam proposal ini dan juga kepada seluruh dosen dan staf Departemen Teknik Elektro, Universitas Hasanuddin yang telah membantu dalam hal keilmuan maupun administrasi pada tahap proposal tesis ini.

Penulis menyadari bahwa proposal ini masih belum sempurna. Dengan demikian, penulis tetap mengharapkan kritik dan saran dengan harapan tulisan ini bisa memberikan manfaat kepada seluruh pihak. Semoga semua pihak tersebut di atas mendapat pahala yang berlipat ganda di sisi Allah Swt Amin.

Gowa, 28 Maret 2021

penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	2
C. Tujuan Penelitian.....	2
D. Batasan Masalah.....	2
E. Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
A. Saluran Transmisi.....	4
B. Arus Gangguan Hubung Singkat	5
1. Pengertian Gangguan.....	5
2. Penyebab Terjadinya Gangguan	5
3. Jenis-jenis Gangguan	5
4. Pengaruh Gangguan	6
C. Sistem Proteksi.....	7
1. Pengertian Sistem Proteksi.....	7
2. Fungsi Sistem Proteksi	8
3. Komponen Utama Sistem Proteksi.....	9
D. Beberapa Jenis Relai Proteksi Untuk Saluran Transmisi	10
1. Relai Arus Lebih (Over Current Relay)	10
2. Relai Jarak.....	10
3. Relai Pilot.....	10
E. Relai Pilot	11
F. Relai Arah.....	12
1. Pengertian Relai Arah.....	12
2. Kuantitas Polarisasi Dari Arah Relai	13
3. Karakteristik Relai Arah	13

4.	Koneksi Relai Arah	15
5.	Prinsip Kerja Relai Perbandingan Arah.....	16
6.	Kekurangan Dari Relai Perbandingan Arah.....	17
G.	Simulator Proteksi Pilot Perbandingan Arah	18
H.	Pengertian Logika Fuzzy	19
1.	Logika Fuzzy	19
2.	Sistem Logika Fuzzy.....	19
3.	Aplikasi Sistem Logika Fuzzy.....	20
I.	Perangkat Lunak Pscad/Emtdc.....	21
J.	Penelitian Terkait.....	23
BAB III METODE PENELITIAN		27
A.	Waktu dan Lokasi Penelitian.....	27
B.	Tahapan Penelitian.....	27
C.	Data/variable penelitian	29
D.	Skema Penelitian.....	29
E.	Teknik Pengumpulan Data	30
1.	Studi Literatur	30
2.	Pengumpulan Data	30
3.	Dokumentasi.....	30
DAFTAR PUSTAKA.....		31

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sistem tenaga listrik terdiri dari 3 komponen utama yaitu pusat pembangkit listrik, saluran transmisi dan sistem distribusi. Saluran transmisi merupakan penghubung antara stasiun pembangkit, sistem distribusi dan sistem daya yang lain melalui interkoneksi. Oleh karena itu saluran transmisi merupakan komponen paling penting pada sistem tenaga (Stevenson, 1990).

Saluran transmisi dibagi menjadi dua yaitu saluran udara yang berfungsi menyalurkan tenaga listrik melalui kawat-kawat yang digantung pada tiang-tiang transmisi dengan perantara isolator-isolator dan saluran bawah tanah yang disalurkan melalui kabel-kabel bawah tanah. Dibandingkan saluran bawah tanah, saluran udara lebih rentan terpengaruh oleh cuaca buruk, topan, hujan angin, bahaya petir yang mengakibatkan rentan terjadinya gangguan hubung singkat pada jaringan tersebut (Arismunandar dan Kuwaraha, 1972).

Pada operasi sistem tenaga sering terjadi gangguan yang dapat mengakibatkan terganggunya penyaluran tenaga listrik ke konsumen. Gangguan adalah penghalang dari suatu sistem yang sedang beroperasi atau suatu keadaan dari sistem penyaluran tenaga listrik yang menyimpang dari kondisi normal. Suatu gangguan di dalam peralatan listrik didefinisikan sebagai suatu kerusakan di dalam jaringan listrik yang menyebabkan aliran arus listrik keluar dari saluran yang seharusnya.

Relai proteksi merupakan elemen yang dapat mendeteksi adanya gangguan. Untuk proteksi jaringan transmisi biasanya digunakan beberapa jenis relai diantaranya relai jarak, relai arus lebih dan relai pilot. Jenis-jenis dari relai tersebut mempunyai keuntungan dan kekurangan masing-masing. Relai pilot dapat berfungsi sebagai proteksi utama dan dapat juga berfungsi sebagai cadangan jika diberikan relai tambahan. Ada jenis relai pilot dengan tipe perbandingan arah.

Relai arah adalah pengaman yang bekerja karena adanya besaran arus dan tegangan yang dapat membedakan arah arus gangguan ke depan atau arah arus ke belakang. Relai ini merupakan pengaman cadangan dan bila bekerja akan mengerjakan perintah trip. Pada relai arah untuk semua jenis gangguan,L-

L, L-G, 2L-G dan 3L, sudut fase dapat dilihat oleh relai dengan baik di bawah 90° . Koneksi ini juga memastikan polarisasi tegangan yang memadai (Ram dan Vihswakarma 1995).

Bagaimanapun, salah satu kelemahan dari relai arah yaitu tegangan polarisasi relai saat terjadi khususnya gangguan tiga fasa yang sempurna dan jarak gangguan sangat dekat dengan relai, tegangan pada semua fasa menjadi sangat kecil yang menyebabkan relai menjadi lumpuh dan tidak bisa membaca gangguan tersebut (Ram dan Vihswakarma 1995). Demikian pula menurut (*Faharuddin, 2002*) yang telah mengkonfirmasi bahwa pada gangguan 3 fasa sempurna, relai arah mengalami kelumpuhan untuk mendeteksi gangguan. Sebagai salah satu upaya mengatasi kelemahan tersebut, penelitian ini mengusulkan penggunaan sistem fuzzy logic untuk meningkatkan atau mempekuat kinerja dari relai arah yang ada.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana mengaplikasikan sistem fuzzy logic pada relai arah?
2. Bagaimana kinerja dari relai arah yang dikombinasi dengan fuzzy logic?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengaplikasikan sistem fuzzy logic pada relai arah.
2. Mengukur kinerja dari relai arah yang telah dikombinasi dengan fuzzy logic.

D. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, perancangan yang akan dibuat dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

- a. Sistem yang akan disimulasikan adalah sistem saluran transmisi dengan panjang saluran 80 km.
- b. Penelitian difokuskan pada gangguan hubung singkat 3 fasa pada saluran transmisi.
- c. Rasio VT (Voltage transformator) dan CT (Current Transformator) diasumsikan 1:1.

E. Sistematika Penulisan

Penulisan tesis ini disusun secara sistematis yang terdiri atas 3 bab yang saling berhubungan. Uraian singkat dari bab-bab tersebut adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini berisikan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Pada bab ini menjelaskan tentang gambaran umum dari Saluran transmisi, Arus Gangguan Hubung Singkat, Sistem Proteksi, Relai Pilot, Relai arah, fuzzy logic dan *PSCD* dan penelitian-penelitian terkait.

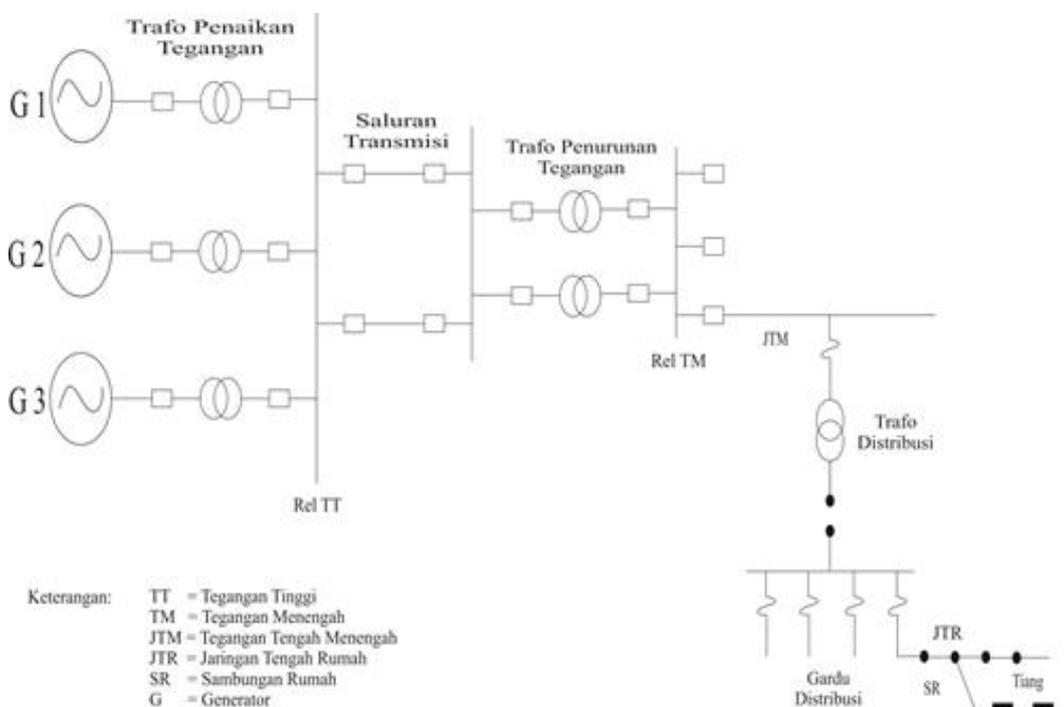
BAB III PERANCANGAN SISTEM

Pada bab ini menjelaskan tentang perancangan sistem yang terdiri dari perangkat lunak.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Saluran Transmisi

Sistem tenaga listrik terdiri dari tiga bagian utama yaitu pusat pembangkit listrik, saluran transmisi dan saluran distribusi. Kadang kala juga ditemukan bagian yang keempat yaitu bagian subtransmisi. Sistem distribusi menghubungkan semua beban yang terpisah satu dengan yang lain. Sistem distribusi dimulai dari saluran subtransmisi ke saluran pelayanan konsumen (pusat beban). Gambar 2.1 berikut memperlihatkan diagram sistem listrik sederhana, terdiri dari tiga generator yang terhubung dengan trafo penaikan tegangan. Daya yang mengalir melalui saluran transmisi diturunkan dulu oleh trafo penurun tegangan sebelum dikirim ke trafo distribusi, dan setelah itu baru dialirkan ke pelanggan melalui gardu distribusi (Arismunandar dan Kuwahara, 1972).



Gambar 2.1 Diagram satu garis sistem tenaga listrik (Stevenson, 1990)

Setiap kesalahan dalam satu rangkaian yang menyebabkan terganggunya aliran arus normal disebut gangguan. Sebagian besar gangguan yang terjadi pada saluran transmisi disebabkan oleh petir yang mengakibatkan terjadinya percikan bunga api pada isolator (Stevenson, 1990).

B. Arus Gangguan Hubung Singkat

1. Pengertian Gangguan

Gangguan adalah keadaan tidak normal pada suatu sistem tenaga. Sistem tenaga yang terdiri dari generator, pemutus, trafo, rangkaian transmisi dan distribusi, yang suatu saat akan mengalami gangguan. Gangguan disebabkan adanya kesalahan dalam suatu rangkaian yang menyebabkan terganggunya arus normal (Stevenson, 1990).

2. Penyebab Terjadinya Gangguan

Penyebab terjadinya gangguan yaitu arus tidak seimbang yang mengalir ke dalam mesin yang berputar mengatur harmonisa, yang membuat mesin menjadi panas dalam waktu singkat. Oleh karena itu, untuk pengoprasian sistem tenaga yang normal jalur sistem harus seimbang. Penyebab lain gangguan pada saluran transmisi udara adalah sambaran petir langsung, pesawat terbang, ular, penumpukan es dan salju, beban abnormal, badai, gempa bumi, tanaman merambat (Mason,1979).

3. Jenis-jenis Gangguan

Dua klasifikasi gangguan yang luas adalah:

a. Gangguan simetris

Gangguan simetris A tiga fasa ($3-\phi$) disebut tipe gangguan simetris. Dalam gangguan $3-\phi$, ketiga fase terjadi hubung singkat. Karna ada dua situasi di mana ketiga fase tersebut mengalami hubung singkat ke tanah atau bukan ke tanah. Hubung singkat $3-\phi$ umumnya diperlakukan sebagai gangguan standar untuk menentukan tingkat gangguan sistem.

b. Gangguan tidak simetris

Gangguan yang terjadi akibat hubung singkat pada salah satu fasa yang ada pada sistem kelistrikan 3 fasa. Gangguan tidak simetris yaitu satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah, hubung singkat fasa ke fasa kemudian sirkuit terbuka satu fasa dan sirkuit terbuka dua fasa adalah jenis gangguan yang tidak simetris. Adapun jenis jenis dari gangguan :

1. Gangguan satu fasa ke tanah (L-G)

Hubung singkat antara salah satu konduktor fasa dan ujungnya disebut gangguan satu fasa ke tanah. Gangguan ini terjadi karena kegagalan isolasi antara fasa konduktor dan tanah, atau karena fasa konduktor putus dan jatuh ke tanah.

2. Gangguan dua fasa ke tanah (2L-G)

Gangguan antara dua fasa dan tanah disebut garis ganda ke tanah atau gangguan dua fasa ke tanah.

3. Gangguan fasa ke fasa (L-L)

Hubung singkat antara dua fasa disebut gangguan garis ke garis atau fasa ke fasa.

4. Pengaruh Gangguan

Gangguan yang paling berbahaya adalah korsleting karena dapat berdampak pada sistem tenaga. Di antaranya yaitu :

- a. Arus hubung singkat yang berat dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan atau komponen lain dari sistem karena panas berlebih dan gaya mekanis tinggi yang diaturl karena arus yang berlebih.
- b. Tegangan suplai yang menurun drastis, yang mengakibatkan hilangnya beban industri.
- c. Sirkuit pendek dapat menyebabkan tidak seimbangnya suplai tegangan dan arus, dengan demikian mesin yang sedang berjalan menjadi cepat panas.
- d. Hilangnya stabilitas sistem. Generator individu dipower sistem kehilangan sinkronisasi, mengakibatkan sistem mati total. Hilangnya stabilitas sistem yang saling berhubungan juga dapat terjadi.
- e. Subsistem dapat mempertahankan pasokan untuk zona masing-masing tetapi pelepasan muatan harus dilakukan disub-sistem yang menerima daya

dari subsistem lain sebelum terjadi kesalahan (Ram dan Vihswakarma 1995).

C. Sistem Proteksi

1. Pengertian Sistem Proteksi

Sistem proteksi/pengaman suatu tenaga listrik yang membentuk suatu pola pengaman tidaklah hanya relai pengaman saja, tetapi juga trafo ratus dan trafo tegangan yang merupakan perangkat instrumen pada relai pengaman, sumber daya DC merupakan sumber untuk mengoperasikan relai pengaman dan pemutus tenaga PMT yang akan menerima perintah akhir dari relai pengaman. Jadi sistem proteksi/pengaman tenaga listrik adalah satu kesatuan antara CT, VT, relai, sumber DC, dan PMT. Adanya kesalahan dari salah satu komponen tersebut akan berakibat sistem tersebut tidak berjalan.

Relai proteksi dapat merasakan adanya gangguan pada peralatan yang diamankan dengan mengukur atau membandingkan besaran-besaran yang diterimanya, misalnya arus, tegangan, daya, sudut fasa, frekuensi, impedansi dan sebagainya. Dengan besaran yang telah ditentukan, kemudian mengambil keputusan untuk seketika ataupun dengan perlambatan waktu untuk membuka pemutus tenaga.

Tugas relai proteksi juga berfungsi menunjukkan lokasi dan macam gangguannya. Dengan data tersebut memudahkan analisa saat terjadi gangguannya. Dalam beberapa hal relai hanya memberi tanda adanya gangguan atau kerusakan, jika relai melihat gangguan atau kerusakan tersebut tidak membahayakan (Mason, 1979).

Dari uraian di atas maka relai proteksi pada sistem tenaga listrik berfungsi untuk:

- a. Merasakan, mengukur dan menentukan bagian sistem yang terganggu serta memisahkan secepatnya sehingga sistem lainnya yang tidak terganggu dapat beroperasi secara normal.
- b. Mengurangi kerusakan yang lebih parah dari peralatan yang terganggu.
- c. Mengurangi pengaruh gangguan terhadap bagian sistem yang lain yang tidak terganggu di dalam sistem tersebut serta mencegah meluasnya gangguan.
- d. Memperkecil bahaya bagi manusia.

Untuk mendapatkan daerah pengaman yang cukup baik, dalam sistem tenaga listrik terbagi di dalam suatu daerah pengaman yang cukup dengan pemutusan subsistem seminimum mungkin (Syukriyadin dkk, 2011).

Tujuan dari relai adalah untuk mendeteksi adanya gangguan dan mengoprasikan pemutus tenaga yang benar sehingga dapat dipisahkan peralatan yang terganggu dari sistem secepat mungkin dan meminimalkan kerusakan yang mungkin terjadi. Relai juga berfungsi untuk menunjukkan lokasi dan macam gangguannya. Dalam beberapa hal relai hanya memberi tanda pada gangguan, jika relai melihat bahwa gangguan atau kerusakan tersebut tidak membahayakan peralatan.

2. Fungsi Sistem Proteksi

Sistem proteksi harus mampu mendeteksi perubahan parameter sistem, mengevaluasi besar perubahan parameter dan membandingkannya dengan besaran dasar yang telah ditentukan sebelumnya, serta memberikan perintah kepada peralatan untuk melakukan proses pemutusan guna memisahkan bagian tertentu dari sistem.

Fungsi utama sistem proteksi adalah mencegah bahaya gangguan terhadap manusia, membatasi segala kerusakan pada peralatan, dengan memutuskan peralatan yang terganggu dari pelayanan atau saat mulai beroperasi pada kondisi yang tidak normal. Jadi, sistem proteksi harus memisahkan bagian yang terganggu dari bagian sistem yang lain, dengan tingkat keandalan yang tinggi dan waktu pemutusan serta jumlah pemutusan sekecil mungkin. Karena itu pemutusan bagian yang terganggu, pembatasan kerusakan lebih lanjut, dan pencegahan menjalarnya gangguan dalam sistem merupakan fungsi relai proteksi berkaitan dengan peralatan pemutus tenaga.

Fungsi sekunder sistem proteksi adalah memberikan indikasi tentang lokasi gangguan dan jenis gangguan. Data ini tidak hanya membantu dalam mempercepat perbaikan tetapi juga dapat dimanfaatkan untuk dibandingkan dengan hasil pengamatan operator dan hasil pencatatan alat pendeteksi gangguan (fault detector). Hasilnya dapat digunakan untuk analisis efektivitas pencegahan gangguan (Mason, 1979).

3. Komponen Utama Sistem Proteksi

Pada prinsipnya sistem proteksi tenaga listrik terdiri atas beberapa komponen antara lain relai, pemutus daya, sumber penyuplai, transformator arus, dan tegangan.

a. Relai

Relai adalah sebuah alat yang menanggapi suatu perubahan dalam rangkaian listrik dengan maksud untuk memberikan perubahan dalam rangkaian listrik itu atau yang lain. Rangkaian yang digerakkan dengan relai itu adalah rangkaian pengendali atau sinyal.

Tugas suatu relai adalah membedakan keadaan di dalam daerah perlindungannya dengan semua keadaan sistem yang lain. Relai ini harus memberikan daya pada kumparan pemutus (trip coil) untuk membuka atau menutup, menyediakan pengaman terhadap pemutusan yang keliru (proses blok) untuk gangguan yang terjadi di luar daerah tersebut. Suatu relai harus mempunyai kemampuan untuk membuka keputusan logis berdasarkan keadaan sinyal masukannya sehingga relai tersebut mampu menghasilkan keluaran yang sinyal masukannya benar untuk setiap kemungkinan keadaan sinyal.

Pemutusan daya terdiri dari berbagai jenis dan dipasang pada seluruh rangkaian daya untuk membuka dan menutup rangkaian maupun pada saat gangguan. Pemutus daya harus memiliki nilai nominal sesuai dengan nilai arus dan tegangan nominal saat kondisi berbeban serta kapasitas pemutus daya untuk kondisi gangguan pada tempat yang telah ditentukan di rangkaian. Hal ini dimaksudkan untuk mengisolasi suatu gangguan pada elemen sistem daya.

Pemutus daya ini harus memiliki kapasitas yang cukup untuk memikul arus hubung singkat maksimum sesaat yang dapat mengalir pada pemutus daya dan kemudian memutuskannya. Pemutus daya juga harus mampu menahan proses penutupan balik pada saat hubung singkat (reclosing) dan kemudian memutuskannya menurut standar yang telah ditentukan (Ram dan Vishwakarma, 1995).

D. Beberapa Jenis Relai Proteksi Untuk Saluran Transmisi

1. Relai Arus Lebih (Over Current Relay)

Relai arus lebih juga merupakan perangkat penting sebagai alat proteksi saluran transmisi terhadap gangguan hubung singkat. Dari namanya, relai ini akan bekerja berdasarkan arus lebih akibat adanya gangguan hubung singkat. Apabila terjadi arus lebih akibat hubung singkat karena melebihi setting relai maka relai akan memberi perintah trip ke pemutus daya sesuai dengan karakteristik waktunya.

2. Relai Jarak

Relai jarak merupakan perangkat penting sebagai alat proteksi saluran transmisi terhadap bahaya gangguan hubung singkat. Bagian utama dari relai jarak yang merasakan adanya gangguan hubung singkat adalah bagian yang bekerja untuk menentukan perbandingan antara besaran tegangan dengan besaran ukur pada suatu tempat di mana dipasang relai proteksi tersebut. Besaran yang diperoleh berupa impedansi, resistansi, dan reaktansi saluran.

Untuk kerja dari relai jarak ditentukan oleh perbandingan tegangan arus pada jaringan yang diproteksinya pada relai jarak ada keseimbangan terhadap relai jarak dan arus yang dinyatakan sebagai saluran impedansi. Relai akan beroperasi jika perbandingan tegangan dan arus lebih kecil dari harga yang telah ditentukan sebelumnya yang merupakan harga dari penyetelan tersebut.

3. Relai Pilot

Relai pilot adalah jenis relai terbaik untuk proteksi saluran transmisi, kapanpun dan dimanapun relai pilot digunakan akan memberikan proteksi dengan kecepatan tinggi untuk semua jenis gangguan hubung singkat pada saluran transmisi yang terganggu. Dalam dua bentuk terminal, atau banyak terminal (multiterminal), maka seluruh pemutus daya dapat trip secara bersamaan, dengan begitu dapat melakukan pemutusan (trip) otomatis dengan kecepatan tinggi. Kombinasi pengetripan dan pemutusan otomatis tersebut semestinya membuat sistem transmisi terisi hingga hampir mencapai batas kestabilannya, dengan demikian saluran transmisi dapat menyalurkan tegangan sebaik mungkin untuk di kirimkan (Mason, 1979).

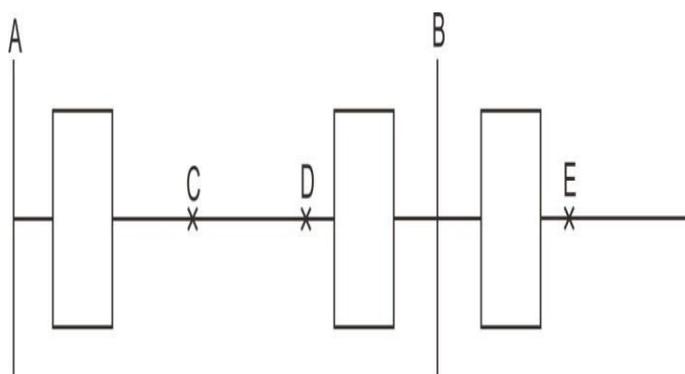
E. Relai Pilot

Relai pilot digunakan di beberapa bentuk multiterminal di mana diperlukannya pemutusan (trip) dengan kecepatan tinggi, hanya untuk konfigurasi saluran yang tidak mungkin untuk digunakannya relai jarak.

Secara umum metode proteksi untuk relai pilot terdiri atas dua metode, yaitu pilot (unit) dan non-pilot (non-unit). Perbedaan antara kedua metode tersebut terletak dari cara kerja, dimana pada metode pilot (unit) menggunakan teknologi komunikasi, sebaliknya pada metode non-pilot (non-unit) tidak. Ada tiga jenis pada metode pilot (unit) yaitu relai pilot diferensial arus, relai pilot perbandingan arah dan relai pilot perbandingan arus.

Istilah "pilot" berarti diantara ujung-ujung saluran transmisi terdapat saluran yang saling berhubungan dari cara di mana informasi bisa diperoleh. Tiga tipe relai pilot saluran yang saat ini digunakan adalah "carrier-current pilot", "microwave pilot" dan "wire pilot".

Carrier-current pilot merupakan relai proteksi yang digunakan untuk tegangan rendah, frekuensi tinggi di mana penransmisiian arus melalui konduktor dari jaringan listrik ke penerima ujung yang lain. Pertanahan dan secara umum konduktor digunakan sebagai kabel tanah. Microwave pilot adalah sistem operasi ultra high frequency. Wire pilot secara ekonomis umumnya banyak dan baik digunakan untuk saluran yang berjarak hingga 5 mil atau 10 mil.



Gambar 2.2 Jaringan transmisi untuk menggambarkan tujuan relai pilot (Mason, 1979).

Gambar 2,7 memperlihatkan diagram single line dari bagian jaringan transmisi yang menghubungkan bus A dan B, yang menunjukkan bagian garis yang berada disisi B. Asumsi kita berada di bus A, di mana tiap jarak dapat tepat

membaca tegangan, arus dan sudut fase antara bus A dan B. Dengan diketahui karakteristik impedansi per unit dari jaringan dan jarak antara bus A dan bus B, maka dapat diketahui juga perbedaan hubung singkat yang terjadi antara bus C dan D, yang jauh dari ujung saluran. Tapi kita tidak dapat menentukan besarnya gangguan yang terjadi di D dan gangguan di E, karna impedansi (tahanan) antara D dan E yang begitu kecil (diabaikan) untuk menghasilkan perbedaan nilai yang akan diukur.

Meskipun kita dapat mendeteksi perbedaan nilai yang di sebabkan ke tidak akuratan dalam pengukuran. Dan tentu saja, akan menemukan kesulitan jika gelombang arus seimbang dilibatkan. Dalam keadaan seperti ini, akan sulit menentukan tripping pada CB saat terjadi gangguan pada D. Tetapi jika kita berada di bus B, meskipun kesalahan dalam pengukuran atau bersal dari sumber atau apakah ada gelombang seimbang, maka ditentukan secara benar apakah kesalahan pada D atau E.

Apa yang dibutuhkan pada bus A, adalah beberapa macam indikasi ketika sudut fase arus pada bus B berbeda kira-kira 180 dari nilai gangguan yang ada pada jaringan AB. Hali ini berlaku sama pada bus B untuk gangguan yang terjadi pada sisi bus A. Infomasi ini dapat diperoleh dari setiap bus dengan contoh yang sesuai dari arus aktual yang terdapat pada bus lain atau dengan sinyal dari bus lain ketika sudut fase arus aktual yang terdapat pada bus lain atau dengan sinyal dari bus lain ketika sudut fase arus kira-kira 180 berda pada saluran yang diproteksi.

Jadi, dari islustrasi tersebut tujuan dari sebuah relai pilot adalah untuk mendapatkan informasi yang pasti dari satu ujung bagian jaringan (saluran) ke ujung jaringan yang lainnya untuk membuat tripping yang selektif dalam memproteksi sebuah saluran (mason, 1979).

F. Relai Arah

1. Pengertian Relai Arah

Relai arah adalah relai yang dapat mengenali perbedaan antara arus yang disuplai dalam satu arah atau yang lain. Pada dasarnya, relai arah dapat mengenali perbedaan tertentu dalam sudut fasa antara dua besaran, dalam relai

ini dibatasi pada perbedaan sudut fase yang melebihi 90° dari sudut fase di mana torsi maksimum dikembangkan (Ram dan Vishwakarma. 1995).

Relai arah adalah relai yang berfungsi ketika arus masukan berada dalam posisi fasa yang telah ditentukan sebelumnya jika dibandingkan dengan referensi, atau jumlah polarisasi. Kuantitas polarisasi dapat berupa tegangan atau arus referensi. Saat mengatur relai arah, nilai pickup E_{xl} atau I_{xl} dan hubungan fasa antara input perlu ditentukan. Relai arah beroperasi bersama dengan arus berlebih atau relai jarak. Relai arah tidak memiliki penundaan waktu yang disengaja (Sleva, 2009).

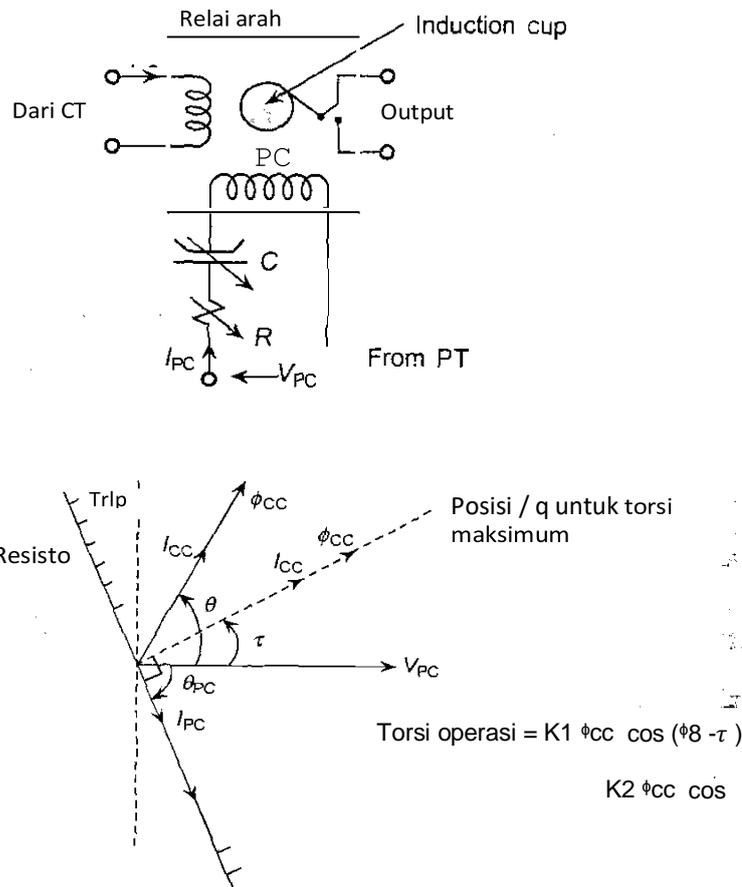
Relai perbandingan fasa adalah skema diferensial yang membandingkan sudut fasa antara arus primer di kedua ujung saluran. Jika kedua arus pada dasarnya dalam fase, tidak ada gangguan di bagian saluran yang dilindungi. Tapi jika kedua arus ini pada dasarnya 180° di luar fase, berarti ada gangguan dalam bagian salurannya (Horowitz, 2008).

2. Kuantitas Polarisasi Dari Arah Relai

Kuantitas yang menghasilkan salah satu fluks yang disebut kuantitas "polarisasi" ini adalah dasar yang membandingkan sudut fase dari kuantitas lainnya. Akibatnya sudut fase kuantitas polarisasi harus tetap lebih atau kurang ketika kuantitas lainnya mengalami perubahan sudut fasa yang lebar untuk pilihan kuantitas polarisasi yang sesuai (Paithanker, 2003).

3. Karakteristik Relai Arah

Relai arah dapat dibandingkan dengan kontak yang membuat wattmeter. Alat pengukur watt mengembangkan torsi positif maksimum ketika arus dan tegangan disuplai ke koil arus dan koil tekanan berada dalam fase. Jika kita mendefinisikan sudut torsi maksimum (MTA) sebagai sudut antara tegangan dan arus di mana relai mengembangkan torsi maksimum, maka wattmeter dapat disebut relai arah dengan MTA derajat nol. Diagram fasor untuk relai arah digambarkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Diagram fasor untuk relai arah berdasarkan prinsip induksi (Paithanker,2003)

V_{pc} adalah tegangan yang diterapkan ke koil tekanan. Arus yang ditarik oleh kumparan tekanan I_{PC} tertinggal tegangan dengan sudut besar $\theta_{PC} - 11$, saat gangguan bergerak dari arah maju ke arah sebaliknya, arus I_a mengalami perubahan besar dalam fasa sedangkan fasa tegangan tidak berubah secara substansial, Jadi sinyal tegangan adalah referensi terhadap sudut fasa arus I_a , diukur t sekarang, dalam relai berdasarkan prinsip induksi, dua fluks yang bertanggung jawab atas produksi torsi 1 dan cc harus digeser dalam fase sebesar 90° , agar menghasilkan torsi I maksimum. Torsi menjadi nol jika fasor arus berjarak 290 dari MTA posisi. Ini menunjukkan arah fasor arus untuk torsi maksimum, sudut torsi maksimum T , dan batas antara daerah trip dan penahan pada fasor diagram. Torsi operasi dari relai arah dapat dinyatakan sebagai:

$$T_{operting} \propto \phi_{PC} \phi_{CC} \sin(\phi + \phi_{PC}) \quad (1)$$

Torsi Dari diagram fasor dapat dilihat bahwa:

$$\phi_{PC} + \tau = 90^\circ \quad (2)$$

$$\phi_{PC} = 90^\circ - \tau$$

$$\begin{aligned}
T_{operting} &\propto \phi_{PC} \phi_{CC} \sin \sin (\phi + 90^\circ - \tau) \\
&\propto \phi_{PC} \phi_{CC} \sin \sin [(\phi - \tau + 90^\circ)] \\
&= K_1 \phi_{PC} \phi_{CC} \cos \cos (\phi - \tau)
\end{aligned}$$

since $\phi_{PC} \propto V_{CC}$ and $\phi_{CC} \propto I_{CC}$ (3)

$$T_{operting} = K_2 V_{PC} I_{CC} \cos \cos (\phi - \tau)$$

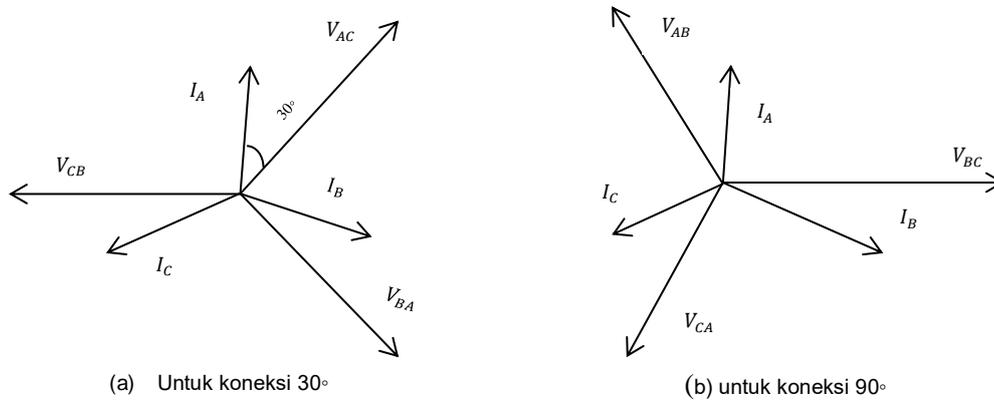
Dari diagram fasor di atas dapat dengan mudah melihat bahwa sudut torsi maksimum T diberikan oleh $\tau = 90^\circ - \phi_{PC}$. Karena kumparan tekanan sangat induktif, nilai ϕ_{PC} berada pada urutan 70° sampai 80° . Ini memberi MTA 20° hingga 10° . Namun, ϕ_{PC} dan karena T dapat disetel ke nilai apa pun yang diinginkan, tetapi jika resistansi atau kapasitansi eksternal dimasukkan ke rangkaian koil tekanan (Paithanker, 2003).

4. Koneksi Relai Arah

Relai arah elektromagnetik dan statik yang mempunyai ciri- ciri dan koneksi listrik yang sama berdasarkan arus dan tegangan yang akan menjadi masukan bagi relai, ada dua buah metode koneksi yang bisa digunakan yakni koneksi 30° dan 90° . Koneksi 30° menggunakan arus fase-A (IA) dan tegangan saluran (antar-fase) VAC untuk relai pada fase-A. Arus dan tegangan tersebut diperlihatkan oleh Gambar 2.5 (a). Serupa dengan hal tersebut, relai pada fase-B menggunakan In dan VBA, serta relai pada fase-C dengan Ic dan Vca. Relai ini dirancang untuk menghasilkan torsi maksimum ketika arus sefase dengan tegangannya (τ bernilai nol derajat) (Rao, 1992).

Koneksi 90° memberikan performa yang lebih baik terhadap hampir semua kondisi. Relai pada fase-A menggunakan masukan LA dan VIC, relai fase-B menggunakan In dan VCA, serta relai fase-C dengan Ic dan VA. Pada koneksi arus dan tegangan tersebut diperlihatkan pada gambar 2.5 (b). Relai ini dirancang untuk membuat torsi maksimum ketika arus mendahului tegangan sebesar 45° derajat dan mempunyai kompensasi terhadap semua gangguan, dua-fase, satu-fase ke tanah, dua-fase ke tanah, tiga-fase, argumen yang terlihat oleh relai adalah hingga torsi relai positif. Koneksi ini memastikan tegangan polarisasi yang cukup. Kecuali untuk gangguan tiga fase yang sangat dekat (close-up) saa

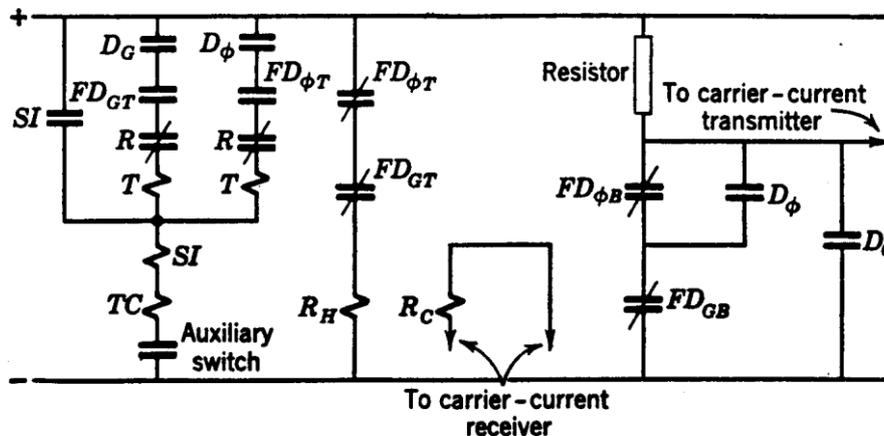
tegangan pada semua fase menjadi sangat kecil (Ram dan Vishwakarma,1995).



Gambar 2.5 Diagram fasor arus dan tegangan untuk relai arah (Ram dan Vishwakarma,1995)

5. Prinsip Kerja Relai Perbandingan Arah

Pada relai perbandingan arah, relai memberi tahu peralatan disatu ujung saluran bagaimana relai arah di ujung lainnya merespons korsleting. Biasanya, tidak ada sinyal pilot yang dikirim dari terminal mana pun. Jika korsleting terjadi di bagian saluran yang berdekatan, sinyal pilot ditransmisikan dari terminal mana pun di mana arus hubung singkat mengalir keluar dari saluran (yaitu, ke arah non-tripping). Saat stasiun mengirimkan sinyal, dan tersangkut ke semua stasiun lain. Tetapi jika korsleting terjadi pada saluran yang dilindungi, tidak ada sinyal relai yang ditransmisikan, dan tripping terjadi disemua terminal yang dialiri arus hubung singkat. Oleh karena itu, relai ini adalah disebut relai pemblokiran, karena penerimaan sinyal relai tidak diperlukan untuk memungkinkannya.



Gambar 2.6. Diagram skema sirkuit kontak penting dari peralatan relai perbandingan arah (Mason,1979)

SI	= relai penyegelel	DG	= relai tanah terarah
S_{φ}	= relai fase arah	R	= relai penerima
FD_{GT}	= relai detektor kesalahan ground tripping	RC	= koil arus pembawa
$FD_{\varphi T}$	= relai detektor kesalahan fase tripping	T	= target
RH	= d-c kumparan penahan	TC	= kumparan perjalanan
FD_{GB}	= relai detektor gangguan pemblokiran tanah;		
$FD_{\varphi B}$	= relai detektor kesalahan pemblokiran fase.		

Sinyal pilot stabil setelah dimulai, dan tidak pada setiap setengah siklus lainnya, seperti dalam relai perbandingan fase. Elemen relai penting di setiap ujung saluran ditunjukkan secara skematis pada gambar 2.6 untuk satu jenis peralatan. Dengan dua pengecualian, semua kontak ditampilkan dalam posisi yang diambil dalam kondisi normal, pengecualiannya adalah bahwa kontak relai penerima (R) terbuka karena koil penahan relai penerima (RH) diberi energi secara normal, dan sakelar bantu pemutus sirkuit ditutup ketika pemutus ditutup. Kontak relai arah fase ($D\varphi$) dapat ditutup atau tidak, tergantung pada arah aliran arus beban (mason,1979).

6. Kekurangan Dari Relai Perbandingan Arah

Relai perbandingan terarah adalah jenis yang paling banyak diterapkan, dan oleh karena itu cocok untuk program standardisasi. Satu-satunya keadaan di mana perbandingan arah tidak bekerja adalah ketika ada induksi timbal balik yang cukup dengan jalur lain dan ketika relai arah tanah digunakan sebagai pengganti relai jarak tanah. Relai perbandingan arah sebagian besar merupakan masalah penerapan relai jarak fase dan relai arah-ground atau jarak ground. Relai tambahan dan peralatan arus pembawa menyediakan fungsi pemblokiran sedangkan relai yang ada menyediakan fungsi tripping (Paithanker,2003).

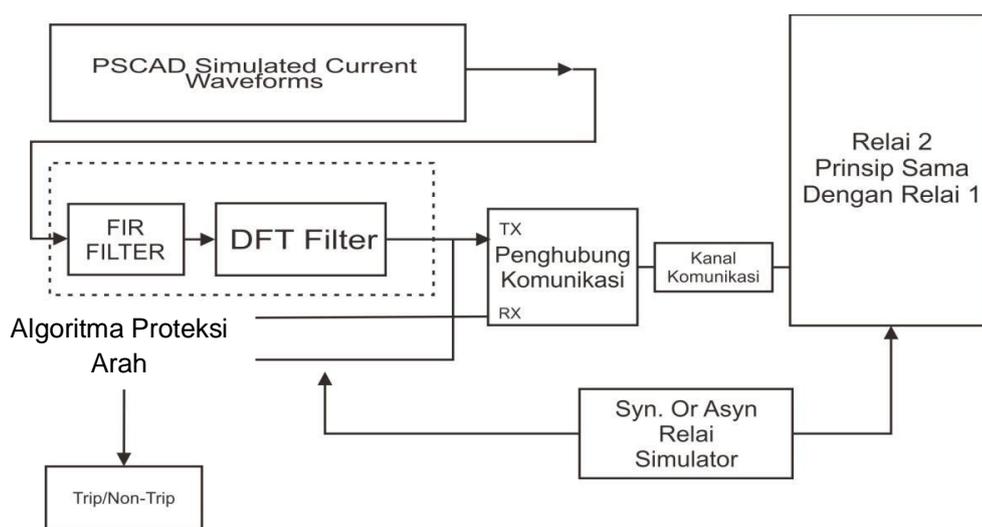
Salah satu kelemahan dari relai arah yaitu tegangan polarisasi relai saat terjadi gangguan tiga fasa yang sempurna dan jarak gangguan sangat dekat dengan relai, tegangan pada semua fasa menjadi sangat kecil yang menyebabkan relai menjadi lumpuh dan tidak bisa membaca gangguan tersebut. Untuk gangguan simetris tiga fasa, koneksi 90° lebih baik dari pada koneksi 30° (Ram dan Vihswakarma 1995).

Relai pilot perbandingan arah ini memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap segala jenis gangguan internal, sehingga mampu mengisolirnya, kecuali di titik-titik gangguan tertentu yang “menghadirkan” kondisi current outfeed (arus keluar). Kondisi yang akan menyebabkan minimal salah satu dari tiga relai “melihat” arah arus ke belakang. Relai ini juga memiliki tingkat ketahanan yang tinggi terhadap gangguan eksternal sehingga relai tetap stabil, kecuali untuk sebagian kecil gangguan tiga-fase. Sebagian kecil itu adalah gangguan tiga fase “sempurna” yang terjadi di rel, tepat belakang relai. Impedansi gangguan sebesar 0,001 p.u (Faharuddin,2002).

Relai perbandingan fasa hanya memberikan perlindungan untuk gangguan dalam saluran yang dilindungi. Dan tidak memberikan perlindungan cadangan untuk gangguan yang dekat dengan relai, juga tidak memiliki perlindungan cadangan untuk bagian garis yang terlindungi. Untuk alasan ini, relai tambahan harus digunakan di setiap terminal untuk perlindungan cadangan, dan untuk memungkinkan pemeliharaan peralatan komunikasi (Horowitz,2008).

G. Simulator Proteksi Pilot Perbandingan Arah

Simulator proteksi Gangguan berdasarkan pada desain prototipe yang dibuat oleh pengguna atau pengarang. Unsur-unsur dasar dalam simulator itu ditunjukkan pada Gambar 2.7



Gambar 2.7 Diagram simulator proteksi relai pilot perbandingan fase (Southern dkk, 1997)

Dari Gambar 2.7 terlihat bahwa, PSCAD menirukan bentuk gelombang arus yang menghasilkan sinyal arus gangguan. Satuan pengolahan sinyal terdiri dari FIR filter dan Discrete Fourier Transform (DFT). Fungsi satuan pengolahan sinyal untuk memproses data dan untuk mengubah ke nilai fasor-fasor frekuensi yang ada pada point diskret waktu. Nilai fasor yang dihitung setiap 20 ms di suatu 50 Hz sistem daya. Masing-masing fasor berlabel dengan pengaturan waktu, tersimpan kedalam memori dan mengirimkan nilai kesetiap batas data saluran. Secara bersamaan, relai ini menerima nilai fasor dari relai lainnya yang terhubung melalui saluran komunikasi. Perhitungan relai menghasilkan nilai fasor yang mempunyai pengaturan waktu yang sama seperti nilai fasor yang diterima. Kedua nilai fasor tersebut di hitung sebagai proteksi. Hasil operasi dan nilai-nilai sinyal yang dikirimkan kepada Performance Evaluator (PE), di mana PE tersebut untuk menunjukkan perintah trip atau tidak trip (Southern dkk, 1997).

H. Pengertian Logika Fuzzy

1. Logika Fuzzy

Logika benar salah tidak dapat mewakili setiap pemikiran manusia, kemudian dikembangkanlah logika fuzzy yang dapat mempresentasikan setiap keadaan atau mewakili pemikiran manusia. Perbedaan antara logika tegas dan logika fuzzy terletak pada keanggotaan elemen dalam suatu himpunan. Jika dalam logika tegas suatu elemen mempunyai dua pilihan yaitu terdapat dalam himpunan atau bernilai 1 yang berarti benar dan tidak pada himpunan atau bernilai 0 yang berarti salah. Sedangkan dalam logika fuzzy, keanggotaan elemen berada di interval $[0,1]$ (Hawari,1998).

2. Sistem Logika Fuzzy

Sistem fuzzy merupakan sistem berdasarkan aturan himpunan fuzzy. Beberapa keistimewaan sistem fuzzy (Wang, 1997: 6), yaitu:

1. Sistem fuzzy cocok digunakan pada sistem pemodelan karena variabelnya bernilai real.
2. Sistem fuzzy menyediakan kerangka yang digunakan untuk menggabungkan aturan-aturan fuzzy, maka yang bersumber dari pengalaman manusia.

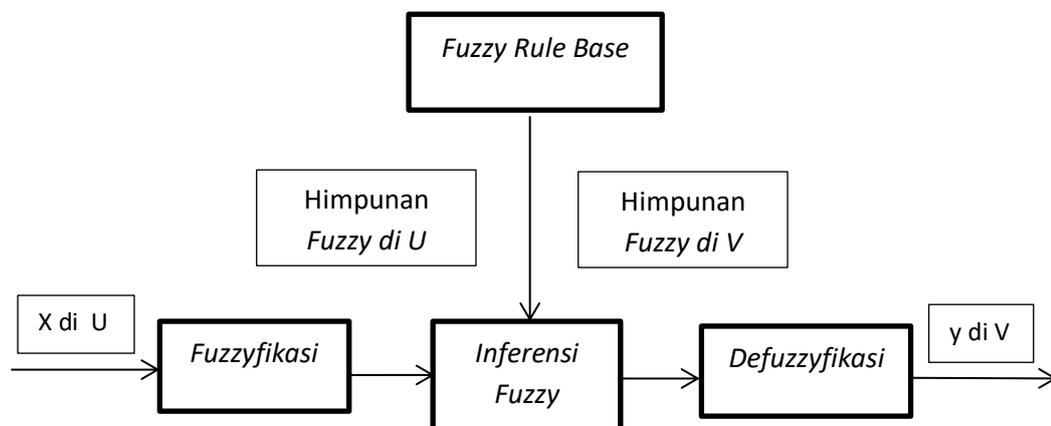
3. Terdapat berbagai pilihan dalam menentukan fuzzifier dan defuzzifier sehingga dapat diperoleh sistem fuzzy yang paling sesuai dengan model. Elemen dasar dalam sistem fuzzy (Wang, 1997:89):

1. Aturan basis (rule base), berisi aturan-aturan secara linguistik yang bersumber dari para pakar.

2. Mekanisme pengambil keputusan (inference engine), merupakan bagaimana para pakar mengambil suatu keputusan dengan menerapkan pengetahuan (knowledge).

3. Proses fuzzifikasi (fuzzification), yaitu mengubah nilai dari himpunan tegas ke nilai fuzzy

4. Proses defuzzifikasi (defuzzification), yaitu mengubah nilai fuzzy hasil inferensi menjadi nilai tegas. Susunan pada sistem fuzzy ditunjukkan pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Susunan sistem fuzzy (Wang,1997)

3. Aplikasi Sistem Logika Fuzzy

Sistem fuzzy telah menggantikan teknologi konvensional dalam banyak aplikasi ilmiah dan sistem rekayasa. Teknik sistem fuzzy dapat diterapkan di area seperti kontrol (area yang paling banyak diterapkan), pengenalan pola (misalnya, gambar, audio, pemrosesan sinyal), analisis kuantitatif (misalnya, penelitian operasi, manajemen), inferensi (misalnya, sistem pakar untuk diagnosis,

perencanaan, dan prediksi pemrosesan bahasa alami antarmuka cerdas robot cerdas rekayasa perangkat lunak), dan pencarian informasi (misalnya, data base). Telah terjadi pertumbuhan pesat dalam penggunaan logika fuzzy dalam berbagai variasi produk konsumen dan sistem industri. Contoh penting termasuk yang berikut:

Di peralatan listrik misalnya, Matsushita membuat mesin cuci fuzzy yang menggabungkan sensor pintar dengan logika fuzzy. Sensor mendeteksi warna dan jenis pakaian yang ada serta jumlah pasir, dan mikroprosesor fuzzy memilih kombinasi yang paling sesuai dari 600 kombinasi suhu air yang tersedia, jumlah deterjen, dan waktu siklus pencucian dan putaran. Isha, Sanyo, dan lainnya membuat camcorder logika fuzzy, yang menawarkan fokus fuzzy dan stabilisasi gambar. Mitsubishi memproduksi AC yang menggunakan sistem fuzzy untuk mengontrol perubahan suhu sesuai dengan indeks kenyamanan manusia. Jumlah produk konsumen fuzzy dan aplikasi fuzzy yang melibatkan paten baru meningkat begitu cepat sehingga tidak mungkin untuk menawarkan daftar aplikasi yang terbatas. Kekayaan aplikasi teknologi fuzzy yang berhasil diterapkan dan sukses inilah yang bertanggung jawab atas minat saat ini dalam sistem fuzzy.

I. Perangkat Lunak Pscad/Emtdc

PSCAD (Power Systems Computer Aided Design) adalah antarmuka pengguna grafis yang kuat dan fleksibel untuk mesin solusi EMTDC yang terkenal di dunia. PSCAD memungkinkan pengguna untuk membuat skematis sirkuit, menjalankan simulasi, menganalisis hasil, dan mengelola data dalam lingkungan grafis yang benar-benar terintegrasi. Fungsi perencanaan online, kontrol dan meter juga disertakan, sehingga pengguna dapat mengubah parameter sistem selama menjalankan simulasi, dan melihat hasilnya secara langsung (Muller, 2005).

PSCAD dilengkapi dengan pustaka model yang telah diprogram dan diuji, mulai dari elemen pasif sederhana dan fungsi kontrol, hingga model yang lebih kompleks, seperti mesin listrik, perangkat FACTS, saluran transmisi dan kabel. Jika model tertentu tidak ada, PSCAD menyediakan fleksibilitas pembuatan model khusus, baik dengan merakitnya secara grafis menggunakan model yang ada,

atau dengan memanfaatkan Editor Desain yang dirancang secara intuitif (Muller, 2005).

PSCAD dan mesin simulasi EMTDC-nya, telah dikembangkan hampir 30 tahun, terinspirasi oleh ide dan saran oleh basis pengguna yang terus berkembang di seluruh dunia. Hal di atas adalah filosofi dasar pengembangannya.

PSCAD / EMTDC adalah simulasi domain waktu dan alat profesional untuk mempelajari perilaku transien jaringan listrik. PSCAD adalah antarmuka pengguna grafis dan EMTDC adalah mesin simulasinya. PSCAD / EMTDC adalah yang paling cocok untuk mensimulasikan tanggapan instan domain waktu, yaitu transien elektromagnetik sistem listrik. Ini dapat digunakan untuk semua aspek melakukan simulasi sistem daya termasuk perakitan sirkuit, kontrol run-time, analisis dan pelaporan.

Pada PSCAD/ EMTDC, beberapa cara juga disediakan untuk membuat beberapa model dan komponen khusus yang tidak ada di perpustakaan. EMTDC mendukung model yang ditulis dalam bahasa FORTRAN/C (Wilson, P.L.).

J. Penelitian Terkait

Penelitian-penelitian sebelumnya berfungsi untuk menganalisa dan memperkaya pembahasa penelitian,serta menjadi bahan acuan dalam membedakannya dengan penelitian yang sedang dilakukan. Dalam penelitian ini disertakan beberapa jurnal international, penelitian sebelumnya yang terkait dengan judul pada penelitan ini.

Tabel 1.2 *State of art* penelitian

Identity Paper	Tahun	Pengarang	Judul	General Informasi	Metode	Hasil penelitian
Previously presented at the 2008 Texas A&M Conference for Protective Relay Engineers.2008 IEEE – All rights reserved. 20070904 • TP6294-01	2017	Servando Sánchez, Alfredo Dionicio, Martín Monjarás, Manuel Guel, Guillermo González, and Octavio Vázquez	Directiona Comparison Protection Over Radio Channels for Subtransmission Lines: Field Experience in Mexico	Penelitian ini meninjau kebutuhan untuk perlindungan jalur subtransmisi yang dibantu berkomunikasi, menjelaskan saluran komunikasi yang tersedia, dan membandingkan skema perlindungan yang berlaku. Dengan menunjukkan keunggulan perlindungan perbandingan arah melalui saluran radio point-to-point digital untuk aplikasi ini.	Skema Perlindungan Berbasis Komunikasi	Perlindungan perbandingan terarah menggunakan saluran radio digital titik-ke-titik menyediakan pembersihan kesalahan yang cepat dengan biaya rendah untuk jalur subtransmisi dan distribusi. Data pemantauan saluran menunjukkan kinerja saluran radio yang sangat andal. Ketidaktersediaan tidak lebih dari 0,000585. Pemadaman saluran terpanjang adalah 4,184 detik. Kegagalan saluran tidak bertepatan dengan kesalahan. Tidak ada relai yang dinonaktifkan karena kegagalan saluran

PRZEGLAD ELEKTROTECHNICZNY, ISSN 0033-2097, R. 97 NR 1/2021 doi:10.15199/48.2021.01.07	2021	Patrick S.Pouabe Eboule1, Ali N. Hasan2,	Accurate Fault Detection and Location in Power Transmission Line Using Concurrent Neuro Fuzzy Technique	Penelitian ini mendeteksi dan menemukan berbagai jenis gangguan yang ada pada saluran transmisi daya dengan menggunakan teknik neuro-fuzzy konkuren (CNF).	logika fuzzy (FL) dan Jaringan saraf tiruan (JST)	Hasil menunjukkan bahwa CNF mampu mendeteksi beberapa jenis dan lokasi kesalahan yang berbeda dengan akurasi tinggi, yang akan mengurangi waktu pemeliharaan tim teknis untuk mencapai tujuan mereka.
978-1-5090-3411-6/16 \$31.00 © 2016 IEEE DOI 10.1109/ICMETE.2016.88	2016	Rahul Agrawal, ebha kolay	Fuzzy Logic based Protection Scheme for Symmetrical and Unsymmetrical Faults in Three Phase Series Compensated Transmission Line	Penelitian ini mendeteksi dan mengetahui klasifikasi gangguan shunt dalam saluran transmisi kompensasi seri tiga fase. Sebuah 735 kV, 60 Hz seri. Dengan pengklasifikasian kesalahan berbasis logika fuzzy.	Fuzzy logic	Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa Skema proteksi yang diusulkan mampu mendeteksi dan mengklasifikasikan semua jenis gangguan simetris dan tidak simetris secara akurat dalam satu waktu siklus.
Adhikari et al. SpringerPlus (2016) 5:1002 DOI 10.1186/s40064-016-2669-4	2016	Shuma Adhikari, Nidul Sinha and Thingam Dorendrajit	Fuzzy logic based on-line fault detection and classification in transmission line	Penelitian ini mengidentifikasi kesalahan online berbasis logika fuzzy dan klasifikasi saluran transmisi menggunakan perangkat Programmable Automation and Control berbasis National Instrument Compact Reconfigurable i/o (CRIO). Perangkat lunak Lab VIEW yang digabungkan dengan CRIO dapat melakukan akuisisi data jalur transmisi secara real time.	Fuzzy logic	Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknik yang diusulkan mampu melakukan aksi tripping yang tepat dan klasifikasi jenis gangguan pada kecepatan tinggi sehingga dapat digunakan dalam aplikasi praktis.

IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 20, NO. 4, NOVEMBER 2005	2008	Uttama Lahiri, A. K. Pradhan, and S. Mukhopadhyaya	Modular Neural Network-Based Directional Relay for Transmission Line Protection	Penelitian ini mengusulkan penerapan jaringan saraf modular sebagai mekanisme untuk membedakan arah kesalahan untuk perlindungan saluran transmisi.	Modular Neural Network	Dengan memperkenalkan konsep modular ke NN untuk klasifikasi kesalahan, kompleksitas tugas dikurangi dan masukan yang berlebihan ke NN dihilangkan. Klasifikasi diuji untuk berbagai kondisi sistem, termasuk variasi dalam sudut awal kesalahan, lokasi kesalahan, hambatan kesalahan, dan frekuensi sistem, dan terbukti akurat.
2005 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference & Exhibition: Asia and Pacific Dalian, China	2005	Mao Peng, Jiang Lin, Xu Yang, dan Ru Feng	Directional Relay's Performances for Transmission Line's Multiple Faults	Penelitian ini menganalisis kinerja abnormal dari directional relai dengan uji simulasi dinamis RTDS (Real Time Digital Simulation) membuktikan hal ini. Karena relai sebagai proteksi utama, untuk secara cepat dan tepat, serta secara selektif menghilangkan kesalahan pada sistem tegangan tinggi atau tegangan ekstra tinggi.	Simulasi dinamis RTDS (Real Time Digital Simulator)	Analisis teoritis dan banyak uji simulasi dinamis menunjukkan bahwa relai terarah terintegrasi yang disajikan dalam penelitian ini dapat dengan cepat dan tepat menentukan arah lokasi gangguan dalam berbagai kondisi gangguan, dengan sensitivitas yang sama seperti pada kondisi gangguan tunggal.
IEEE International Conference on Power and Energy (PECon 08), December 1-3, 2008,	2008	Sadinezhad dan M. Joorabian	A New Adaptive Hybrid Neural Network and Fuzzy Logic Based Fault Classification Approach for Transmission Lines Protection	Penelitian ini mengklasifikasikan tipe gangguan pada jalur transmisi. Metode yang diusulkan mampu mengidentifikasi kesepuluh gangguan shunt pada saluran transmisi dengan tingkat	Jaringan saraf tiruan adaptif dan logika fuzzy	Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengoperasian metode ini tidak bergantung pada kondisi gangguan termasuk lokasi gangguan, sudut awal gangguan, dan impedansi gangguan

Johor Baharu, Malaysia				ketahanan yang tinggi terhadap kondisi variabel seperti amplitudo yang diukur dan tahanan gangguan.		
	2021	INDRI NIRWANA	Relai pilot teknik perbandingan arah diperkuat dengan fuzzy logic untuk proteksi saluran transmisi udara	Penelitian ini mengusulkan untuk mengatasi kelemahan dari relai arah, dan juga meningkatkan dan mempekuat kinerja dari arah dengan menggunakan sistem fuzzy logic.	Fuzzy logic	

BAB III METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Lokasi Penelitian

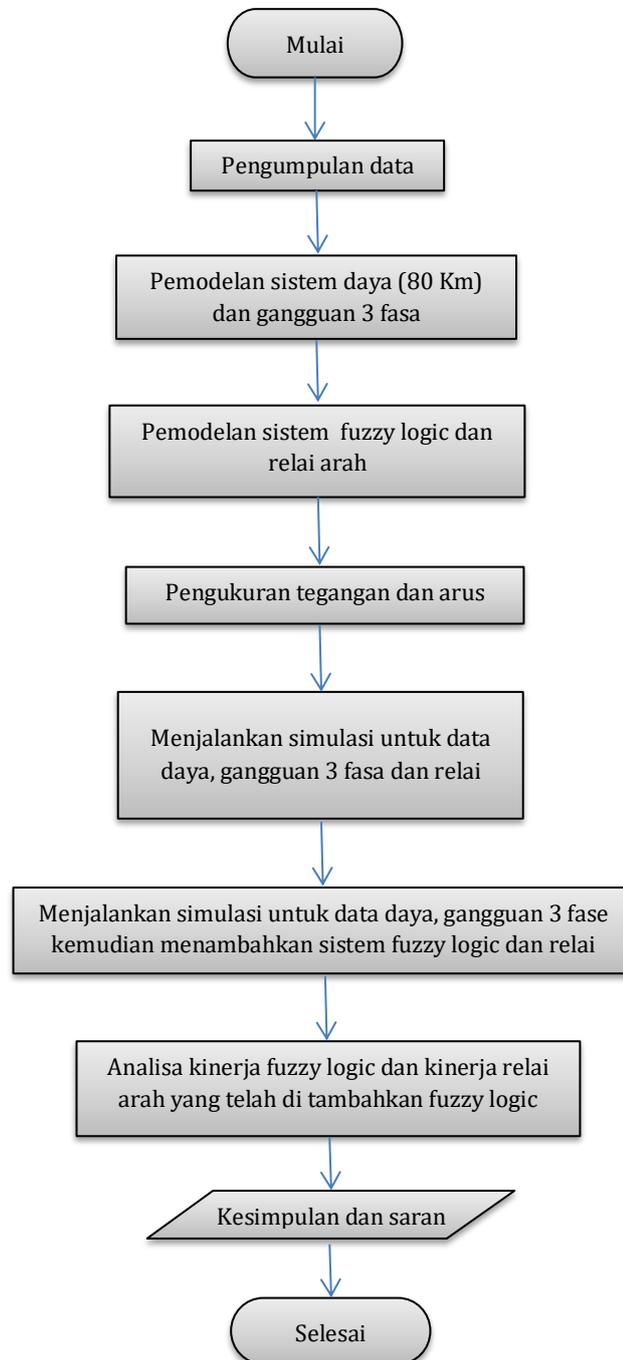
Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Mesin-mesin listrik Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada bulan Maret 2021 sampai dengan bulan Agustus 2021. Chart untuk jadwal penelitian ini bisa dilihat sebagai berikut :

Kegiatan	Mar.	Apr.	Mei	Juni	Juli	Ags.
Studi Literatur						
Pemodelan sistem tenaga						
Pemodelan sistem daya, Fuzzy Logic, Gangguan dan Relai						
Uji coba rangkaian simulasi pada PSCAD						
Analisa data hasil pengujian						
Pembuatan laporan						

B. Tahapan Penelitian

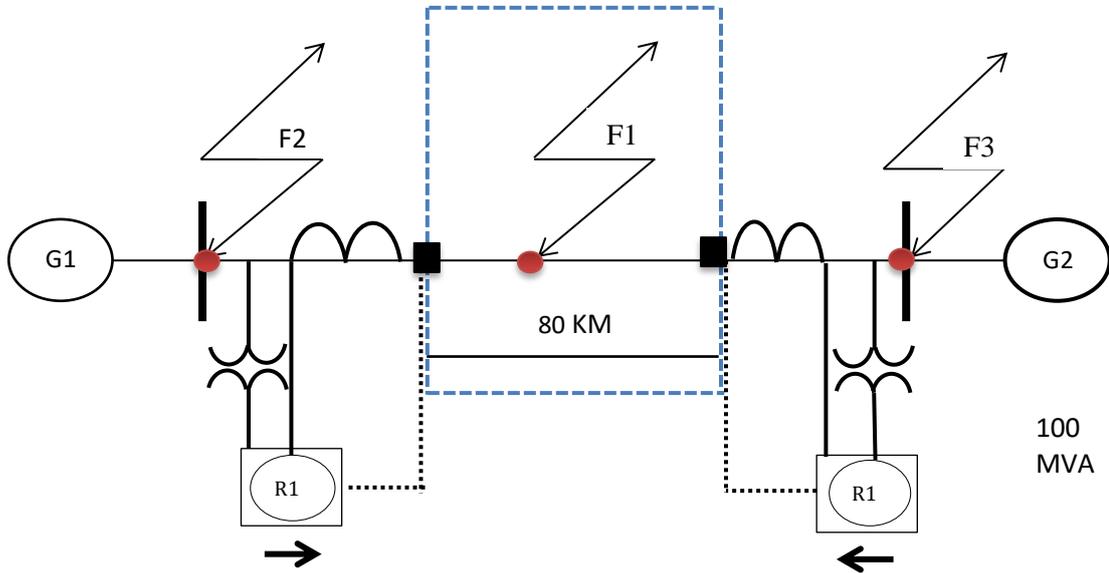
Dalam penelitian ini dilakukan studi literatur, mengumpulkan bahan dan teori dasar yang berkaitan dengan penelitian. Kemudian menggunakan aplikasi PSCAD/EMTDC untuk simulasi dengan membuat rangkaian sistem tenaga listrik, kemudian menerapkan model sistem daya dengan panjang saluran transmisi 80 Km, lalu menambahkan gangguan 3 fasa, kemudian menerapkan sistem fuzzy logic dan rangkaian relai pada sistem tenaga listrik tersebut. kemudian menjalankan simulasinya untuk menganalisis data dari sistem daya, gangguan, sistem fuzzy logic dan kinerja dari relai arah pada sistem tenaga listrik tersebut. Pada step pertama penelitian akan membuat rangkaian tanpa menggunakan fuzzy logic untuk mengidentifikasi titik kelemahan dari relai tersebut, kemudian di step kedua penelitian ini akan menambahkan sistem fuzzy logic, jadi pada saat terjadi gangguan tegangan yang mengalir akan di kirim terlebih dahulu ke fuzzy

logic untuk di proses, setelah itu barulah di kirimkan ke relai. Alur pikir ini dengan jelas diperlihatkan pada flowcart Gambar 3.1 berikut:



Gambar 3.1 Peningkatan relai arah menggunakan Fuzzy logic dengan perangkat lunak PSCAD

C. Data/variable penelitian



Gambar 3.2 Data variabel penelitian

Keterangan :

Normal = Tanpa gangguan

Fault = AB, ABC dan A-G

Rf = 5, 10, 15 Ω

F1 = Gangguan zona internal

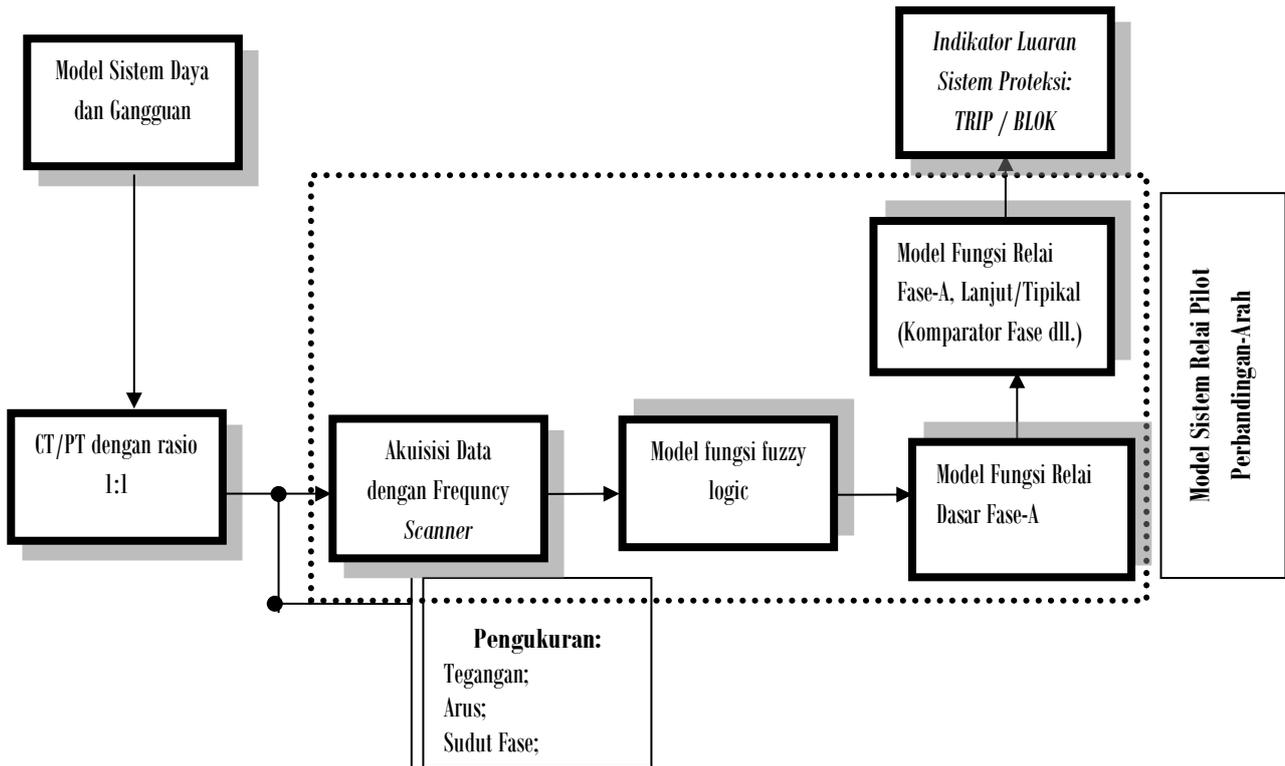
F2 dan F3 = Gangguan zona eksternal

G1 dan G2 = Generator

P1 dan P2 = Relai pilot

D. Skema Penelitian

Adapun garis besar dari rangkaian kelistrikan pada modul yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.3 Diagram Balok Skema Penelitian *Software PSCAD/EMTDC*

E. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur diperlukan untuk mencari dan mengumpulkan data dan informasi yang terkait dengan rancangan sistem. Data mengenai komponen-komponen yang akan digunakan dan informasi mengenai penelitian-penelitian yang terdahulu.

2. Pengumpulan Data

Proses pengumpulan data dilakukan dengan menjalankan simulai pada rangkaian, kemudian melakukan pengukuran tegangan, arus dan sudut fase pada rangkaian tersebut.

3. Dokumentasi

Setelah pengujian dan pengukuran dilakukan, maka hasilnya akan didokumentasikan dan dijadikan acuan dalam penyusunan laporan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhikari, S., Sinha, N. & Dorendrajit, T. Fuzzy logic based on-line fault detection and classification in transmission line. Springerplus 5, 1002 (2016). <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2669-4>
- Arismunandar dan Kuwahara, 1993, Teknik Tenaga Listrik, Jilid II Saluran transmisi, Penerbit Pradya Paramita, Jakarta.
- Faharuddin, Andi, Dr. Ir. Sasongko P. Hadi, Dea. "Sistem proteksi saluran transmisi udara-tiga terminal dengan menggunakan relai pilot perbandingan arah berbasis relai arah" (2002): Yogyakarta.
- Hawari Mohamed E. El. 1998. Electric power applications of fuzzy system. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 345 East 47th Street, New York, NY 10017-2394.
- Huisheng Wang and W. W. L. Keerthipala, "Fuzzy-neuro approach to fault classification for transmission line protection," in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 13, no. 4, pp. 1093-1104, Oct. 1998, doi: 10.1109/61.714467.
- Horowitz Stanley H. and Arun G. Phadke, 2008, Power System Relaying, Third Edition. Research Studies Press Limited, England
- I. Sadinezhad and m. Joorabian, "a new adaptive hybrid neural network and fuzzy logic based fault classification approach for transmission lines protection," 2008 IEEE 2nd International Power and Energy Conference, Johor Bahru, Malaysia, 2008, pp. 895-900, doi: 10.1109/pecon.2008.4762602.
- Mason, C. Rulles. 1979. *The Art and Science of Protective Relaying*.
- Mao Peng, Jiang Lin, Xu Yang and Ru Feng, "Study of Directional Relay's Performances for Transmission Line's Multiple Faults," 2005 IEEE/PES Transmission & Distribution Conference & Exposition: Asia and Pacific, Dalian, China, 2005, pp. 1-5, doi: 10.1109/TDC.2005.1547033.
- Muller, Craig. P. Eng. On the use of PSCAD (Power System Computers Aided Design), Research Centre, Winnipeg, Manitoba, Canada.
- Paithanker Y. G dan S. R. Bhide, 2003. Fundamentals Of Power System Protection, Meenakshi Printers, Delhi.
- P. Kumar, m. Jamil, m. S. Thomas and moinuddin, "fuzzy approach to fault classification for transmission line protection," proceedings of IEEE. IEEE region 10 conference. Tencon 99. 'Multimedia technology for asia-pacific information infrastructure' (cat. No.99ch37030), cheju, korea (south), 1999, pp. 1046-1050 vol.2, doi: 10.1109/tencon.1999.818602.
- P. S. P. Eboyle, j. H. C. Pretorius, n. Mbuli and c. Leke, "fault detection and location in power transmission line using concurrent neuro fuzzy technique," 2018 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC), Toronto, ON, Canada, 2018, pp. 1-6, doi: 10.1109/epec.2018.8598311.
- R. Agrawal and e. Koley, "fuzzy logic based protection scheme for symmetrical and unsymmetrical faults in three phase series compensated transmission

- line," 2016 international conference on micro-electronics and telecommunication engineering (icmete), ghaziabad, 2016, pp. 471-475, doi: 10.1109/icmete.2016.88.
- Rao,"swichgear and protection",Khanna Publisher, New Delhi, 1992
- S. Sanchez et al., "directional comparison protection over radio channels for subtransmission lines: field experience in mexico," 2008 61st annual conference for protective relay engineers, college station, tx, usa, 2008, pp.334-343doi:10.1109/cpre.2008.5415063
- Stevenson. W. D. Jr. 1990. Analisis sistem tenaga listrik, edisi keempat . Penerbit erlangga : jakarta.
- T. S. Sidhu, h. Singh and m. S. Sachdev, "an artificial neural network for directional comparison relaying of transmission lines," sixth international conference on developments in power system protection (conf. Publ. No. 434), nottingham, uk, 1997, pp. 282-285, doi: 10.1049/cp:19970082.
- U. Lahiri, a. K. Pradhan and s. Mukhopadhyaya, "modular neural network-based directional relay for transmission line protection," in iee transactions on power systems, vol. 20, no. 4, pp. 2154-2155, nov. 2005, doi: 10.1109/tpwrs.2005.857839.
- Vishwakarma D. N., Ram Badri, 1995.Power Sisyem Protection And Swicgear, Tata mcgraw-Hill, New Delhi.
- Wei Li, "A method for design of a hybrid neuro-fuzzy control system based on behavior modeling," in IEEE Transactions on Fuzzy Systems, vol. 5, no. 1, pp. 128-137, Feb. 1997, doi: 10.1109/91.554459.