

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Sistem Proteksi

Sistem proteksi adalah sistem pengamanan yang dilakukan terhadap peralatan - peralatan listrik yang terpasang pada suatu sistem atau instalasi tenaga listrik, seperti, generator, *busbar*, transformator, saluran udara tegangan tinggi (SUTT), saluran kabel bawah tanah dan lain sebagainya terhadap kondisi gangguan saat operasi sistem tenaga listrik. Gangguan yang timbul pada sistem tenaga listrik ini dapat berupa hubung singkat, tegangan lebih atau kurang, beban lebih, frekuensi sistem turun atau naik dan lain-lain. Selain untuk melindungi peralatan-peralatan listrik, sistem proteksi juga harus dapat meminimalisir daerah yang terganggu dan memisahkan daerah yang terganggu, sehingga gangguan tidak meluas dan kerugian yang ditimbulkan akibat gangguan tersebut dapat diminimalisir. (Yuli Kustanto et al., 2014)

2.2 Fungsi Sistem Proteksi

Sistem proteksi pada instalasi tenaga listrik mempunyai fungsi utama, yaitu: (Yuli Kustanto et al., 2014)

1. Mendeteksi adanya gangguan atau keadaan abnormal lainnya pada bagian sistem tenaga listrik yang diamankan.
2. Melepaskan bagian sistem tenaga listrik yang mengalami gangguan, sehingga bagian sistem lainnya yang tidak mengalami gangguan dapat terus beroperasi.

2.3 Kriteria Sistem Proteksi

Ada beberapa kriteria yang perlu diketahui pada pemasangan suatu sistem

proteksi dalam suatu rangkaian sistem tenaga listrik yaitu : (Aryanto et al., 2013)

a. Kepekaan (Sensitifitas)

Sensitifitas adalah kepekaan *Relay* proteksi terhadap segala macam gangguan dengan tepat yakni gangguan yang terjadi di daerah perlindungannya. Kepekaan suatu sistem proteksi ditentukan oleh nilai terkecil dari besaran penggerak saat peralatan proteksi mulai beroperasi. Nilai terkecil besaran penggerak berhubungan dengan nilai minimum arus gangguan dalam daerah yang dilindunginya.

b. Kecepatan

Sistem proteksi perlu memiliki tingkat kecepatan sebagaimana ditentukan sehingga meningkatkan mutu pelayanan, keamanan manusia, peralatan dan stabilitas operasi. Mengingat suatu sistem tenaga mempunyai batas-batas stabilitas serta gangguan sistem bersifat sementara, maka *Relay* yang semestinya bereaksi dengan cepat.

c. Selektifitas dan Diskriminatif

Selektif berarti suatu sistem proteksi harus dapat memilih bagian sistem yang harus diisolir apabila *Relay* proteksi mendeteksi gangguan. Pemisahan ini harus dilakukan sedemikian rupa sehingga hanya area yang mengalami gangguan yang diputus, sementara bagian sistem yang masih berfungsi tetap beroperasi secara normal.

Diskriminatif berarti suatu sistem proteksi harus mampu membedakan antara kondisi normal dan kondisi abnormal. Ataupun membedakan apakah kondisi abnormal tersebut terjadi di dalam atau di luar daerah proteksinya. Dengan

demikian, segala tindakannya akan tepat dan akibatnya gangguan dapat dieliminasi menjadi sekecil mungkin.

d. Keandalan (*Reliability*)

Suatu sistem proteksi dapat dikatakan andal jika selalu berfungsi sebagaimana yang diharapkan. Sistem proteksi disebut tidak andal bila gagal bekerja pada saat dibutuhkan dan bekerja pada saat proteksi itu tidak seharusnya bekerja.

2.4 Komponen Sistem Proteksi

Sistem proteksi pada instalasi tenaga listrik terdiri dari dari komponen yang telah menjadi satu kesatuan untuk mengatasi gangguan. Komponen ini terdiri dari: (Yuli Kustanto et al., 2014)

1. *Relay* Proteksi

Relay bertugas menerima besaran-besaran arus, tegangan, frekuensi, dan lain-lain. Adanya ketidak normalan masukan besaran-besaran listrik melampaui batas setingnya, *Relay* akan membunyikan alarm dan atau melepas PMT yang mana akan mengisolir gangguan atau peralatan yang terganggu. (Yuli Kustanto et al., 2014)

2. *Current Transformer* (CT)

Transformator arus adalah suatu peralatan listrik yang dapat memperkecil arus besar menjadi arus kecil, yang dipergunakan dalam rangkaian arus bolak – balik (AC). Transformator Arus (*Current Transformer*/CT) berfungsi untuk : (Sugiharto, n.d.)

a. Mengkonversi besaran arus pada sistem tenaga listrik dari besaran primer

menjadi besaran sekunder untuk keperluan pengukuran sistem metering dan proteksi.

- b. Mengisolasi rangkaian sekunder terhadap rangkaian primer, sebagai pengamanan terhadap manusia atau operator yang melakukan pengukuran.

3. *Potential Transformer* (PT)

Potential Transformer (PT) berfungsi untuk merubah besaran tegangan dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau memperkecil besaran tegangan listrik pada sistem tenaga listrik, menjadi besaran tegangan untuk pengukuran dan proteksi. (Pratomo, Patras, 2021)

4. Pemutus Tenaga (PMT)

Pemutus Tenaga (PMT) merupakan peralatan yang berfungsi sebagai saklar mekanis untuk pemutus aliran beban (arus listrik) ketika kondisi normal ataupun pada saat terjadi gangguan pada saluran sistem tenaga listrik sesuai dengan rating yang dimiliki oleh PMT tersebut agar tidak terjadi kerusakan. (Firdaus & Hidayat, 2021).

2.5 Gangguan Hubung Singkat

Hubung singkat adalah terjadinya hubungan penghantar bertegangan atau penghantar tidak bertegangan secara langsung tidak melalui media (resistor atau beban) yang semestinya sehingga terjadi aliran arus yang tidak normal (sangat besar).

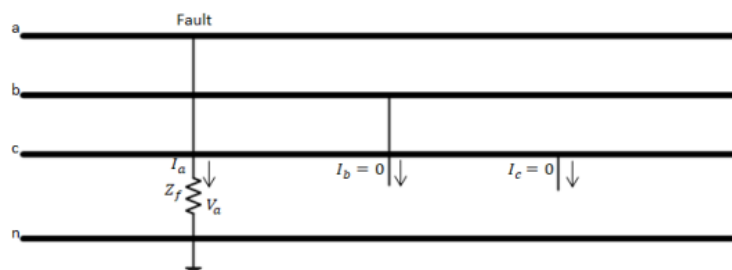
Hubung singkat merupakan jenis gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik, terutama pada saluran udara 3 fasa. Meskipun semua komponen

peralatan listrik selalu diisolasi dengan isolasi padat, cair (minyak), udara, gas, dan sebagainya. Namun karena usia pemakaian, keausan, tekanan mekanis, dan sebab-sebab lainnya, maka kekuatan isolasi pada peralatan listrik bisa berkurang atau bahkan hilang sama sekali. Hal ini akan mudah menimbulkan hubung singkat.

Gangguan hubung singkat yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik 3 fasa sebagai berikut :

1. Gangguan satu fasa dengan tanah

Gangguan satu fasa ke tanah akan menyebabkan kenaikan arus pada fasa terganggu dan tegangan menjadi nol, sedangkan arus pada fasa lain menjadi nol yang diikuti dengan kenaikan tegangan pada fasa yang lain. (Agusthinus S. Sampeallo, Nursalim, n.d.)



Gambar 2.1 Gangguan Satu Fasa ke Tanah

Untuk gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah yang tidak melaluisuatu impedansi Z_f , dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$I_{ao} = I_{a1} = I_{a2} = \frac{V_f}{Z_0 + Z_1 + Z_2} \quad (2.1)$$

Keterangan :

$I_{ao} = I_{a1} = I_{a2}$ = Arus gangguan (A)

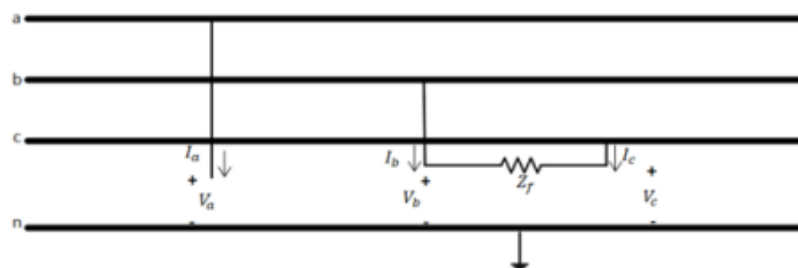
V_f = Tegangan (V)

Z_0 = Impedansi urutan nol (Ohm)

$$\begin{aligned}
 Z_1 &= \text{Impedansi urutan positif (Ohm)} \\
 Z_2 &= \text{Impedansi urutan negatif (Ohm)}
 \end{aligned}$$

2. Gangguan fasa ke fasa

Gangguan fasa ke fasa terjadi akibat putusnya salah satu kawat fasa pada sistem transmisi atau distribusi, khususnya pada konfigurasi jaringan yang tersusun vertikal. Kemungkinan lain adalah dari penyebab kerusakan isolator di transmisi atau distribusi sekaligus dua fasa. Atau bisa juga akibat *back flashover* antara tiang dan dua kawat fasa sekaligus sewaktu tiang transmisi atau distribusi yang mempunyai tahanan kaki tiang yang tinggi tersambar petir, dan lain-lain. Perhitungan arus gangguan untuk suatu hubung singkat fasa ke fasa pada sistem tenaga sama halnya dengan hubung singkat tiga fasadan hubung singkat satu fasa ke tanah, dimana digunakan asumsi- asumsi untuk penyederhanaan perhitungan. (Agusthinus S. Sampeallo, Nursalim, n.d.)



Gambar 2.2 Gangguan Fasa ke Fasa

Pada Gambar 2.2 menunjukkan gangguan antara fasa pada suatu sistem tenaga tiga fasa, dimana gangguannya terjadi melalui suatu impedansi gangguan Z_f . Jika gangguannya tidak melalui suatu impedansi gangguan Z_f , maka persamaan arus gangguan sama seperti persamaan berikut:

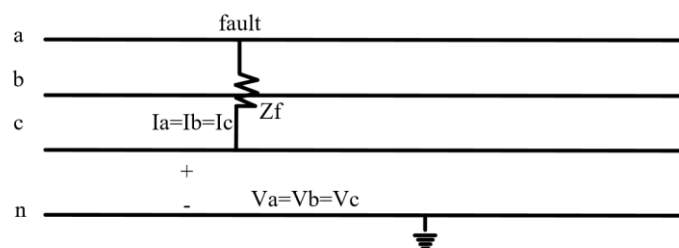
$$I_f = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2} \quad (2.2)$$

Keterangan :

I_f	=	Arus gangguan (A)
V_f	=	Tegangan (V)
Z_1	=	Impedansi urutan positif (Ohm)
Z_2	=	Impedansi urutan negatif (Ohm)

3. Gangguan tiga fasa

Gangguan hubung singkat tiga fasa merupakan jenis gangguan simetris, di mana arus dan tegangan pada setiap fasa tetap seimbang setelah gangguan terjadi. Oleh karena itu, analisis pada sistem ini cukup dilakukan dengan menggunakan komponen urutan positif saja. Tipe gangguan ini sangat jarang terjadi, tetap merupakan tipe gangguan yang paling parah karena pada setiap saluran arus gangguan sama besarnya. (Agusthinus S. Sampeallo, Nursalim, n.d.)



Gambar 2.3 Gangguan 3 Fasa

Rumus arus gangguan 3 fasa adalah sebagai berikut:

$$I_f = \frac{V_f}{Z_1} \quad (2.3)$$

Keterangan :

I_f	=	Arus gangguan (A)
V_f	=	Tegangan (V)
Z_1	=	Impedansi urutan positif (Ohm)

2.6 Relay Arus Lebih (*Over Current Relay*)

Over current relay atau *Relay* arus lebih bekerja ketika ada hubung singkat yang berdampak pada kenaikan arus, oleh karena itu disebut *Relay* arus lebih.). *Relay* arus lebih dapat dikoordinasikan dengan *Relay* lain atau dengan GFR dengan memberikan tunda waktu yang sebenarnya merupakan inti dari setelan *Relay* selain juga perhitungan setelan arus. (Dermawan & Nugroho, 2017)

Standard Inverse adalah jenis kurva karakteristik *Relay* arus lebih yang sangat baik untuk dikoordinasikan karena selain memiliki tunda waktu yang statis dan juga memiliki setelan kurva arus dan waktu sehingga *Relay* arus lebih jenis ini dapat memberikan tunda waktu tergantung dari arus yang terukur. Makin besar arus, maka semakin kecil waktu tundanya. Untuk perhitungan waktu kerja *relay* dengan kurva karakteristik standard inverse/inverse/normal inverse adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 I_{relai} &= \frac{I_f}{CT \text{ Ratio}} \\
 PSM &= \frac{I_{relai}}{I_{pick\ up-sekunder}} \\
 t_{op} &= \frac{0.14 \times TMS}{PSM^{0.02-1}}
 \end{aligned}
 \tag{2.6}$$

Keterangan :

I_{relai}	=	Arus pada <i>Relay</i> (A)
I_f	=	Arus Gangguan (A)
CT Ratio	=	Rasio CT
PSM	=	<i>Plug Setting Multiplier</i>

$$\begin{aligned}
 I_{pick\ up-sekunder} &= \text{Arus Setting Relay} \\
 TMS &= \text{Time Multipple Setting}
 \end{aligned}$$

Prinsip kerja *over current relay* adalah berdasarkan adanya arus lebih yang dirasakan *Relay*, baik disebabkan adanya gangguan hubung singkat atau beban lebih untuk kemudian memberikan perintah trip ke PMT sesuai dengan karakteristik waktunya. (Dermawan & Nugroho, 2017)

2.7 *Relay Gangguan Tanah (Ground Fault Relay)*

Ground Fault Relay (GFR) bekerja berdasarkan deteksi arus gangguan tanah. Dalam kondisi normal dengan beban seimbang, arus pada fasa R, S, dan T memiliki nilai yang sama, sehingga tidak ada arus yang mengalir pada kawat netral, dan *relay* tetap dalam keadaan tidak aktif. Namun, jika terjadi ketidakseimbangan arus atau gangguan hubung singkat ke tanah, arus urutan nol akan muncul pada kawat netral, menyebabkan *relay* bekerja untuk mengisolasi gangguan. (Dermawan & Nugroho, 2017)

2.8 *Ketidakseimbangan Beban*

Ketidakseimbangan beban berpengaruh terhadap besarnya arus netral, dimana arus netral yang besar mengakibatkan *losses* bertambah dan kualitas tenaga yang rendah sehingga berpengaruh terhadap kualitas sistem penyaluran tenaga listrik.

Penyebab ketidakseimbangan beban itu sendiri diakibatkan oleh adanya gangguan arus hubung singkat antar fasa maupun gangguan fasa ke tanah. (Ashshiddiqi et al., 2011)

2.9 Pengaruh Ketidakseimbangan Beban terhadap *Relay* Proteksi

Ketidakseimbangan beban dalam sistem tiga fasa ditandai dengan perbedaan aliran arus pada setiap fasanya. Jika dikaitkan dengan metode perhitungan arus residu, kondisi ini menunjukkan bahwa ketidakseimbangan arus fasa dapat menghasilkan arus residu pada *relay* proteksi. Hal ini mengindikasikan bahwa ketidakseimbangan beban dapat memicu aliran arus residu, yang berpotensi memengaruhi kerja *relay* proteksi (Ashshiddiqi et al., 2011)

2.10 Unjuk Kerja *Relay*

Apabila terjadi gangguan pada sistem tenaga, *relay* utama diharapkan bekerja dan mengisolir gangguan. Namun demikian, *Relay - Relay* yang daerah operasinya berada disekitar titik gangguan akan menerima sinyal gangguan dan mulai pula bereaksi. *Relay - Relay* ini tidak akan menginisiasi pembukaan PMT apabila *relay* utama mampu bekerja secara benar.

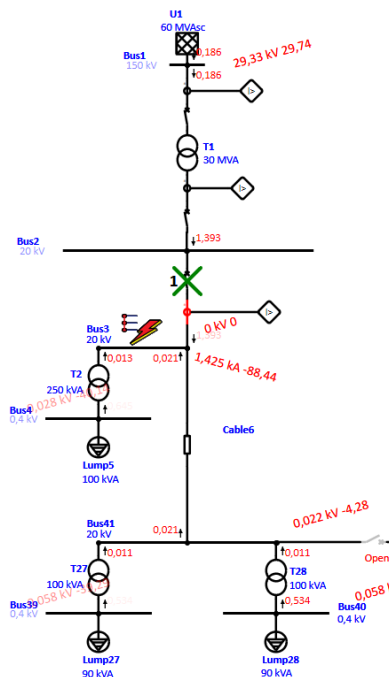
Informasi mengenai kinerja *relay* cadangan hanya dapat diketahui jika *relay* tersebut melakukan *trip*. Meskipun demikian, keberadaan *relay* cadangan tetap penting dalam sistem proteksi. Hampir semua sistem proteksi dapat merespons gangguan, tetapi hanya satu *relay* yang sebenarnya mengaktifkan *trip coil* pada PMT, meskipun terkadang tidak ada bukti langsung mengenai hal ini. Dokumentasi kinerja *relay* hanya dapat diperoleh jika terdapat bukti yang menunjukkan aktivitasnya. Unjuk kerja dapat digolongkan dalam 3 katagori utama, yaitu:(Risma, 2023.)

a Operasi Benar

Operasi benar diperlihatkan oleh:

1. Paling sedikit terdapat 1 buah *Relay* primer yang beroperasi dengan benar.
2. Tidak satupun *relay* cadangan bekerja karena gangguan yang sama.
3. Area gangguan dapat diisolir secepat yang diharapkan.

Hampir 99% atau hampir semua *relay* beroperasi dengan benar dan diinginkan, yaitu sesuai dengan rencana dan program. Operasi yang benar tapi tidak diinginkan menjelaskan beberapa kasus *Relay* dan peralatan pendukungnya bekerja namun operasinya tidak diharapkan. Sebagai contoh terjadinya *blackout* total pada suatu sistem, hal ini sebetulnya tidak diharapkan. (Risma, 2023.)



Gambar 2.4 Operasi Benar Koordinasi *Relay*

b Operasi Salah

Operasi yang salah dapat terjadi akibat kesalahan atau kegagalan fungsi atau

$$P_{Total\ Terpakai} = P_{Total} \times Persentase\ Pembebanan$$

Daya Rata-rata per Fasa:

$$P_{rata-rata} = \frac{P_{Total\ Terpakai}}{3}$$

1. Ketidakseimbangan 5

$$\Delta_5 = 0,05 \times P_{rata-rata}$$

Beban per Fasa :

$$P_R = P_{rata-rata} + \Delta_5$$

$$P_S = P_{rata-rata} \quad (2.4)$$

$$P_T = P_{rata-rata} - \Delta_5$$

2. Ketidakseimbangan 10

$$\Delta_{10} = 0,10 \times P_{rata-rata}$$

Beban per Fasa :

$$P_R = P_{rata-rata} + \Delta_{10}$$

$$P_S = P_{rata-rata} \quad (2.5)$$

$$P_T = P_{rata-rata} - \Delta_{10}$$

Keterangan :

P_{Total} = Total Kapasitas Daya (KV_a)

$P_{Total\ Terpakai}$ = Total Daya Terpakai (KV_a)

$P_{rata-rata}$ = Daya rata – rata 3 Fasa (KV_a)

Persentase Pembebanan = Persentase skenario pembebanan (%)

Δ_5 = Persentase ketidakseimbangan beban 5%

Δ_{10} = Persentase ketidakseimbangan beban 10%

2.12 Penelitian Terkait

Tabel 2.1 Penelitian Terkait

No	Judul Jurnal	Nama Peneliti	Tempat dan Tahun Penelitian	Pembahasan Jurnal	Kebaruan Penelitian
1.	Analisis <i>Setting Over Current Relay</i> (OCR) dan <i>Ground Fault Relay</i> (GFR) Pada <i>Recloser Feeder</i> Indi PT.PLN (Persero) Rajapolah Dengan Aplikasi ETAP 16.0.0	Febri Aji Saputra	Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Siliwangi (2022)	Jurnal ini mencari nilai rekonfigurasi peyetelan dan waktu pengoperasian OCR dan GFR sesuai dengan perkembangan beban yang ada. Adapun tahapan simulasi yang digunakan pada ETAP 16.0.0 adalah analisis gangguan hubung singkat. Perhitungan setting OCR dan GFR dihitung menggunakan perhitungan manual sebagai metode perhitungan dan menggunakan aplikasi ETAP.16.0.0. Penelitian ini diharapkan mampu menemukan Solusi berupa rekonfigurasi peyetelan OCR dan GFR serta membandingkannya dengan data lapangan yang dimiliki PT. PLN (Persero) Rajapolah.	Perbedaan penelitian ini dengan penelitian terkait yaitu pada pembahasan yang akan dibawa di penelitian ini hanya membahas analisis kinerja dari <i>setting Relay</i> OCR, GFR dan DIFF yang sudah ada dengan menambahkan gangguan – gangguan hubung singkat dan beban yang tidak seimbang dengan tujuan mencari kelemahan dari <i>setting Relay</i> tersebut.
2.	Evaluasi Sistem Koordinasi Proteksi Gardu Induk Waru Termasuk Trafo 150 kV/20 kV	Muhammad Zaqi Mubarok	Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (2019)	Jurnal ini membahas mengenai koordinasi proteksi yang baik dapat tercapai dengan mengatur CT, rating <i>relay</i> , serta time interval antar CB sesuai dengan kebutuhan beban. Sehingga, dapat tercipta koordinasi proteksi yang dapat menyesuaikan dengan kebutuhan beban di Gardu Induk Waru.	Perbedaan penelitian ini dengan penelitian terkait yaitu pada pembahasan yang akan dibawa di penelitian ini hanya membahas analisis kinerja dari <i>setting Relay</i> OCR, GFR dan DIFF yang sudah ada dengan menambahkan gangguan – gangguan hubung singkat dan beban yang tidak seimbang dengan tujuan mencari kelemahan dari <i>setting Relay</i> tersebut dan tidak melakukan pengaturan ulang <i>setting</i> rating CT dan <i>Relay</i> .

No	Judul Jurnal	Nama Peneliti	Tempat dan Tahun Penelitian	Pembahasan Jurnal	Kebaruan Penelitian
3.	Evaluasi Koordinasi <i>Relay</i> Pengaman Pada Jaringan Distribusi 20 KV di Gardu Induk Garuda Sakti, Panam-Pekanbaru	Hasrizal Rusymi	Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (2014)	Jurnal ini melakukan evaluasi dan analisis terhadap setting dan koordinasi peralatan pengaman pada Gardu Induk Garuda Sakti, maka diharapkan Gardu Induk Garuda Sakti mampu mendistribusikan dan menjamin terpasoknya daya listrik ke pelanggan secara optimal dari sebelumnya	Perbedaan penelitian ini dengan penelitian terkait yaitu pada pembahasan yang akan dibawa di penelitian ini hanya membahas analisis kinerja dari <i>setting Relay</i> OCR, GFR dan DIFF yang sudah ada dengan menambahkan gangguan – gangguan hubung singkat dan beban yang tidak seimbang dengan tujuan mencari kelemahan dari <i>setting Relay</i> tersebut dan terdapat perbedaan dalam cakupan wilayah yang dalam penelitian ini terdapat wilayah Gardu Induk dan Penyulang.
4.	Analisis Ketidakseimbangan Beban terhadap Kerja <i>Relay</i> Gangguan Tanah Pada Gardu Induk Nuramber	Amrul Hamid	Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (2017)	Penelitian ini membahas mengenai penentuan nilai setting <i>Relay</i> gangguan tanah (GFR), menentukan waktu kerja <i>Relay</i> gangguan tanah (GFR), menentukan arus tidak seimbang pada sistem yang terpasang <i>Relay</i> gangguan tanah (GFR) dan menentukan arus gangguan hubung singkat pada Gardu Induk Nurambe	Perbedaan penelitian ini dengan penelitian terkait yaitu terdapat pada komponen <i>Relay</i> yang akan diteliti yaitu tidak hanya GFR melainkan OCR dan juga DIFF.
5.	Analisis Pengaruh Beban Tidak Seimbang Terhadap <i>Relay</i> Gangguan Tanah Pada PLN Transmisi APP Malang (Aplikasi GI Singkaling)	M. Hasbi Ashshiddiqi, Bambang Dwi Sulo, Bambang Minto B	Jurusan Teknik Elektro, Universitas Islam Malang (2011)	Jurnal ini membahas tentang keadaan bagaimana yang menyebabkan ketidakseimbangan sistem maupun ketidakseimbangan beban itu sendiri dan juga membahas tentang seberapa besar pengaruh dari ketidakseimbangan sistem maupun ketidakseimbangan beban terhadap proteksi khususnya terhadap <i>relay</i> gangguan tanah (GFR).	Perbedaan penelitian ini dengan penelitian terkait yaitu terdapat pada komponen <i>Relay</i> yang akan diteliti yaitu tidak hanya GFR melainkan OCR dan juga DIFF.