

STUDI PENGARUH BEBAN LEBIH TERHADAP KINERJA RELAY ARUS LEBIH PADA TRANSFORMATOR DAYA DI GARDU INDUK PEDAN MENGGUNAKAN ETAP

Hendrawan Dwi Harsono¹, Hamzah Berahim², Slamet Hani³

¹Mahasiswa, ²Pembimbing 1, dan ³Pembimbing 2

Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Industri, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Jl. Kalisahak 28 Komplek Balapan Tromol Pos 45 Yogyakarta 55222

Telp. (0274)563029 E-mail : hendrawandwi22@yahoo.co.id

INTISARI

Transformator daya merupakan suatu peralatan yang sangat vital yang berfungsi menyalurkan daya listrik dari tegangan tinggi ketegangan rendah atau sebaliknya dan tidak pernah lepas dari gangguan. Adanya gangguan yang terjadi pada transformator dapat menghambat proses penyaluran energi listrik ke konsumen. Oleh karena itu, sistem proteksi yang handal sangat dibutuhkan untuk melindungi transformator dari gangguan. Relai arus lebih SPAJ 140C merupakan salah satu relai proteksi cadangan yang digunakan oleh pihak PLN untuk memproteksi transformator 150/20 kV yang ada di gardu induk Pedan dari gangguan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja relai SPAJ 140C sebagai relai cadangan dalam melindungi transformator. Penelitian ini memberikan hasil bahwa dengan besar gangguan beban lebih 30.5 MW dan arus lebih yang mengalir pada transformator sebesar 130.593 A, relai SPAJ 140C dapat bekerja dalam waktu 195.566 detik. Nilai arus gangguan yang mengalir pada transformator tersebut merupakan nilai yang sangat kecil, maka relai SPAJ 140C pun bekerja dalam waktu yang lama.

Kata kunci : Sistem Proteksi, Beban Lebih, Arus Lebih, Relai Arus Lebih

I. PENDAHULUAN

Transformator adalah unsur utama dan merupakan mata rantai terpenting dalam penyaluran dan distribusi tenaga listrik. Seiring dengan semakin meningkatnya permintaan energi listrik maka keperluan akan transformator dengan sendirinya meningkat mengikuti bertambah

besarnya daya listrik yang dibangkitkan. Oleh karena transformator merupakan unsur utama dari sistem penyaluran dan distribusi energi listrik dan merupakan peralatan yang paling mahal harganya, maka sistem proteksi atau pengamanan terhadap sebuah transformator baik terhadap gangguan-gangguan yang terjadi dari dalam transformator itu sendiri maupun dari luar transformator

tersebut sangat perlu diperhatikan.

Gardu induk Pedan memiliki 1 buah transformator daya yang tidak pernah lepas dari gangguan, baik itu gangguan internal maupun gangguan eksternal. Transformator daya yang ada di gardu induk Pedan mengalami gangguan dengan berbagai jenis gangguan. Salah satu gangguan yang terjadi adalah beban lebih (*overload*). Transformator II mengalami gangguan beban lebih (*overload*) disebabkan karena pembangkit mengalami *trip* ketika terjadi gangguan internal pada pembangkit tersebut. Kejadian ini menimbulkan ketidaknyamanan terhadap konsumen dan kerugian terhadap pihak PLN. Melihat gangguan yang sering terjadi pada transformator II di gardu induk Pedan, dengan kapasitas transformator 30 MVA dan pembebanan 110% serta beban yang semakin meningkat setiap hari, PT. PLN (Persero) P3B Jawa Bali APP Salatiga Gardu induk Pedan dituntut harus melakukan penambahan jumlah transformator. Hal ini bertujuan untuk menghindari transformator dari gangguan-gangguan yang terjadi. Selain itu juga perlu melakukan pengaturan pembebanan ulang.

II. TEORI DASAR

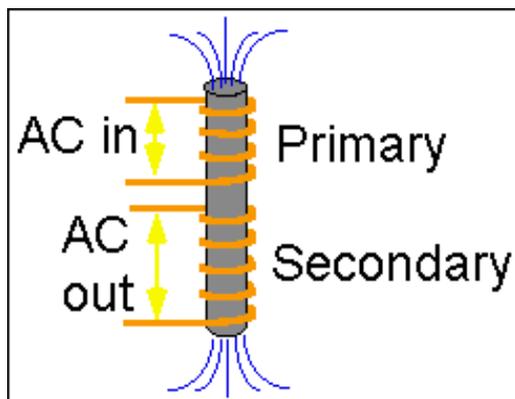
Transformator adalah suatu alat listrik statis yang dipergunakan untuk mengubah tegangan bolak-balik menjadi lebih tinggi atau lebih rendah dan digunakan untuk memindahkan energi dari suatu rangkaian listrik ke rangkaian lainnya tanpa merubah frekuensi. Transformator disebut peralatan statis karena tidak ada bagian yang bergerak atau berputar, tidak seperti motor atau generator.

Dalam bentuknya yang paling sederhana, transformator terdiri atas dua kumparan dan satu induktansi mutual. Dua kumparan tersebut terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder. Kumparan primer adalah kumparan yang menerima daya dan dinyatakan sebagai terminal masukan dan kumparan sekunder adalah kumparan yang melepas daya dan dinyatakan sebagai terminal keluaran. Kedua kumparan dibelit pada suatu inti yang terdiri atas material magnetik berlaminasi.

Secara sederhana transformator dapat dibagi menjadi tiga bagian, yaitu lilitan primer, lilitan sekunder dan inti besi. Lilitan primer merupakan bagian transformator yang terhubung dengan sumber energi (catu daya). Lilitan

sekunder merupakan bagian transformator yang terhubung dengan rangkaian beban.

Sedangkan inti besi merupakan bagian transformator yang bertujuan untuk mengarahkan keseluruhan fluks magnet yang dihasilkan oleh lilitan primer agar masuk ke lilitan sekunder.



Gambar 1. Inti Besi Lilitan Primer Sekunder

Keterangan dari gambar diatas adalah Arus bolak-balik mengelilingi inti besi Arus yang mengalir pada belitan primer akan menginduksi inti besi transformator sehingga di dalam inti besi akan mengalir fluks magnet dan fluks magnet ini akan menginduksi belitan sekunder sehingga pada ujung belitan sekunder akan terdapat beda potensial

Gangguan pada Transformator

Dalam sistem tenaga listrik, gangguan didefinisikan sebagai terjadinya suatu kerusakan dalam

penyaluran daya listrik yang menyebabkan aliran arus listrik lebih besar dari aliran arus yang seharusnya.

Secara umum, gangguan pada transformator dibagi menjadi dua jenis yaitu gangguan internal dan gangguan eksternal. Gangguan internal adalah gangguan yang berasal dari transformator itu sendiri sedangkan gangguan eksternal adalah gangguan yang berasal dari luar transformator dan dapat terjadi kapan saja dengan waktu yang tidak dapat ditentukan. Gangguan internal dibagi menjadi dua jenis, yaitu gangguan *incipien* dan gangguan elektrik. Gangguan *incipien* yaitu gangguan yang dimulai oleh suatu gangguan kecil dan tidak berarti namun secara lambat akan menimbulkan kerusakan. Gangguan ini akan dideteksi oleh relai pengaman mekanis seperti relai *bucholz*, relai *jansen* dan relai *sudden pressure*. Gangguan elektrik yaitu gangguan elektrik yang dideteksi oleh relai proteksi utama transformator.

1. Gangguan Internal

Gangguan yang termasuk dalam gangguan internal adalah :

- a. Terjadinya busur api (*arc*) yang kecil dan pemanasan lokal yang disebabkan oleh :

- Cara penyambungan konduktor

- yang tidak baik
 - Kontak-kontak listrik yang tidak baik
 - Kerusakan isolasi antara inti baut
- b. Gangguan pada sistem pendingin yaitu pada umumnya banyak transformator menggunakan minyak transformator sebagai isolasi sekaligus merupakan bahan pendingin. Dan kenyataannya adalah ketika terjadi gangguan di dalam transformator tersebut, maka di dalam minyak itu akan timbul sejumlah gas.
- c. Arus sirkulasi pada transformator yang bekerja parallel

2. Gangguan Eksternal

Gangguan yang termasuk dalam gangguan eksternal adalah :

a. Hubung Singkat Luar (*External Short Circuit*)

Hubung singkat ini terjadi di luar transformator, seperti di bus, di penyulang (*feeder*) dan di sistem yang merupakan sumber bagi transformator tersebut.

b. Beban Lebih (*Overload*)

Transformator daya akan bekerja secara kontinyu apabila transformator tersebut berada pada beban nominalnya.

Namun apabila beban yang dilayani lebih besar dari 100%, maka transformator tersebut akan mendapat pemanasan lebih dan hal ini akan mempersingkat umur isolasi transformator keadaan beban lebih berbeda dengan arus lebih. Pada beban lebih, besar arus hanya kira-kira 10% di atas nominal dan dapat diputuskan setelah berlangsung beberapa puluh menit. Sedangkan pada arus lebih, besar arus mencapai beberapa kali arus nominal dan harus diputuskan secepat mungkin.

c. Gelombang surja

Surja petir adalah gejala tegangan lebih transien yang disebabkan oleh sambaran petir. Pada saluran transmisi performa petir menjadi salah satu faktor dominan dalam perancangan menara dan saluran transmisi.

Pengaman Rele Arus Lebih (*Over Current Relay*)

Dalam keadaan normal arus yang mengalir ke transformator tentunya diharapkan tidak melebihi arus nominalnya. Apabila arus yang mengalir melebihi harga nominal akan mengakibatkan transformator

mengalami kerusakan. Hal ini tentunya tidak dikehendaki sama sekali.

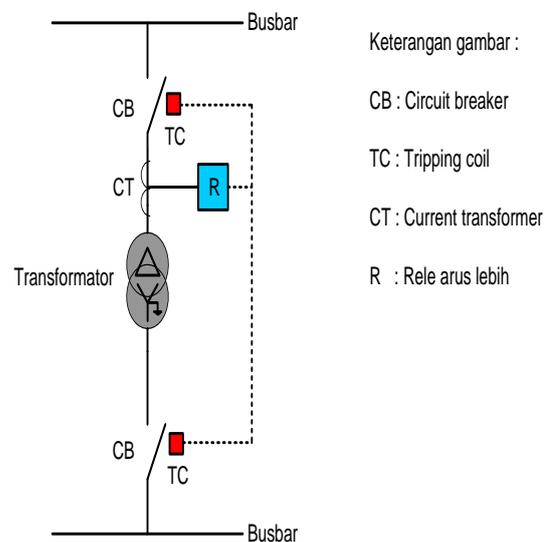
Untuk memberikan perlindungan dipasanglah pengaman arus lebih yang lazim disebut pengaman arus lebih (*Over Current relay*)

Cara kerja rele jenis ini adalah sebagai berikut :

1. Bila ada gangguan arus lebih maka arus yang mengalir ke transformator akan dideteksi oleh CT yang berfungsi sebagai sensor sesuai dengan *Current Ratio CT* tersebut.
2. Besarnya arus CT akan disetting sesuai dengan arus *Pick up Relay*.
3. Arus *Pickup Relay* disetting 120 % untuk rele tunda waktu, dan 600% untuk rele tanpa penundaan waktu.
4. Bila arus gangguan yang dideteksi CT mencapai atau melebihi arus *pickup rele* maka rele R otomatis akan bekerja.
5. Untuk rele jenis tunda waktu, kecepatan kerja rele berbanding terbalik dengan besarnya arus gangguan, makin besar arus gangguan maka makin pendek waktu yang dibutuhkan rele untuk bekerja.

6. Bila rele R bekerja akan memerintahkan trip coil TC bekerja, dan mengerjakan CB memutuskan rangkaian dengan transformator.

Dengan demikian transformator terhindar dari kerusakan yang tidak diharapkan.



Gambar 2. *One Line Diagram*
Pengaman Rele Arus Lebih

Relai arus lebih atau yang dikenal dengan OCR (*Over Current Relay*) merupakan peralatan yang mensinyalir adanya arus lebih, baik yang disebabkan oleh adanya gangguan hubung singkat atau *overload* yang dapat merusak peralatan sistem tenaga yang berada dalam wilayah proteksinya.

Relai arus lebih ini digunakan hampir pada seluruh pola pengamanan sistem tenaga listrik, lebih lanjut relai

ini dapat digunakan sebagai pengaman utama ataupun pengaman cadangan.

Pada transformator tenaga, OCR hanya berfungsi sebagai pengaman cadangan (*back up protection*) untuk gangguan eksternal atau sebagai *back up* bagi *outgoing feeder*. OCR dapat dipasang pada sisi tegangan tinggi saja atau pada sisi tegangan menengah saja atau bisa juga pada sisi tegangan tinggi dan tegangan menengah sekaligus. Selanjutnya OCR dapat menjatuhkan PMT pada sisi dimana relai terpasang atau dapat menjatuhkan PMT di kedua sisi transformator tenaga. OCR jenis *definite time* ataupun *inverse time* dapat dipakai untuk proteksi transformator terhadap arus lebih.

Sebagai pengaman transformator tenaga dan SUTT bertujuan untuk:

1. Mencegah kerusakan transformator tenaga atau SUTT dari gangguan hubung singkat.
2. Membatasi luas daerah terganggu (pemadaman) sekecil mungkin.
3. Hanya bekerja apabila pengaman utama transformator tenaga atau SUTT tidak bekerja.

Setting Relai Arus Lebih

1. Setting arus OCR

Menurut Irfan Affandi (2009), penyetelan relai OCR pada sisi primer dan sisi sekunder transformator tenaga terlebih dahulu harus dihitung arus nominal transformator tenaga. Perhitungan ini dapat dihitung menggunakan persamaan 1.

$$I_{base} = \frac{S_{base}}{\sqrt{3}V_{base}} \dots\dots\dots(1)$$

dimana:

I_{base} = arus nominal (A)

S_{base} = daya semu (VA)

V_{base} = tegangan (sesuai sisi transformator) (V)

Setelah diketahui arus nominal transformator tenaga, kemudian barulah setting arus untuk relai OCR baik sisi primer (150kV) maupun pada sisi sekunder (20kV) transformator tenaga dengan persamaan 2.

$$I_{set} \text{ (primer)} = 1,2 \times I \text{ nominal trafo} \dots\dots\dots(2)$$

Nilai tersebut adalah nilai primer untuk mendapatkan nilai setelan sekunder yang dapat disetkan pada relai OCR, maka harus dihitung menggunakan rasio trafo arus (CT) yang terpasang pada sisi primer maupun

sisi sekunder transformator tenaga dengan persamaan 3.

$$I_{set} \text{ (sekunder)} = I_{set} \text{ (primer)} \times \frac{1}{\text{Rasio CT}} \dots\dots(3)$$

2. Seting waktu (TMS)

Menurut Irfan Affandi (2009), seting waktu (TMS) dapat dihitung menggunakan persamaan 2.4.

$$t = TMS(Td) \times \frac{k}{(I/I_s)^{\alpha} - 1} \dots\dots(4)$$

dimana:

- t = waktu operasi (s)
- TMS = standar waktu seting relai (s)
- k = konstanta *standart inverse*
- I = arus gangguan hubung singkat (Ampere)
- I_s = arus seting primer pada relai (Ampere)
- α = konstanta *standart inverse*

Untuk menentukan nilai TMS yang akan disetkan pada relai OCR sisi *incoming* transformator tenaga, yaitu arus hubung singkat (*If*) dua fasa di bus 20 kV, sedangkan untuk sisi 150 kV transformator tenaga diambil arus hubung singkat (*If*) dua fasa di sisi 150 kV.

Sistem Proteksi Transformator

Sistem proteksi bertujuan untuk mengidentifikasi gangguan dan memisahkan bagian yang terganggu dari bagian lain yang masih normal sekaligus mengamankan bagian yang masih normal tersebut dari kerusakan atau kerugian yang lebih besar.

Ada 5 syarat yang harus dimiliki oleh sistem kelistrikan, yaitu :

1. Selektifitas

Sistem proteksi harus dapat memilih bagian sistem yang harus diisolir apabila relai proteksi mendeteksi gangguan. Bagian yang dipisahkan dari sistem yang normal adalah bagian yang terganggu saja.

2. Keandalan (*reliable*)

Suatu sistem proteksi dikatakan handal jika dapat bekerja dengan baik dan benar pada berbagai kondisi sistem. Keandalan sistem proteksi dibagi atas dua unsur yaitu kemampuan relai yang selalu bekerja dengan baik pada kondisi abnormal dan kemampuan relai untuk tidak bekerja pada kondisi normal.

3. Kecepatan Kerja

Tujuan terpenting dari sistem proteksi adalah memisahkan bagian yang terkena

gangguan dari sistem yang normal dengan cepat agar tidak menimbulkan kerugian yang lebih besar. Sistem proteksi harus memiliki tingkat kecepatan yang tinggi agar meningkatkan mutu pelayanan, keamanan manusia, peralatan dan stabilitas operasi.

4. Sensitifitas

Sensitifitas adalah kepekaan relai proteksi terhadap segala macam gangguan dengan tepat yakni gangguan yang terjadi di daerah perlindungannya.

5. Ekonomis dan sederhana.

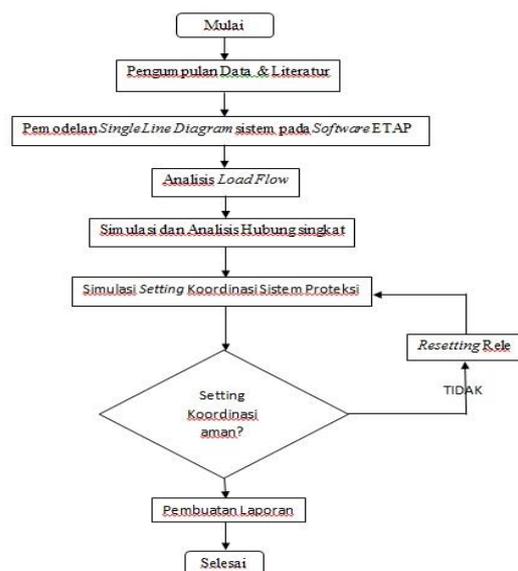
Sistem proteksi yang digunakan hendaknya ekonomis dengan tidak mengesampingkan fungsi dan keandalannya.

Relai proteksi adalah suatu piranti baik elektrik maupun magnetik yang dirancang untuk mendeteksi suatu kondisi ketidaknormalan yang tidak diinginkan terjadi pada peralatan sistem tenaga listrik. Jika terjadi ketidaknormalan pada sistem tenaga listrik, maka secara otomatis relai proteksi akan memberikan sinyal atau perintah untuk membuka pemutus tenaga (*circuit breaker*) agar bagian yang terganggu dapat dipisahkan dari

sistem yang normal. Relai proteksi juga berfungsi untuk menunjukkan lokasi dan macam gangguannya sehingga memudahkan evaluasi pada saat terjadi gangguan.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini, penulis melakukan 2 metode yaitu secara matematis dan secara simulasi. Dimana relay OCR SPAJ 140C dimodelkan berdasarkan model dan karakteristik relay OCR SPAJ 140C dan relai OCR dimodelkan dengan karakteristik kurva invers dan data system serta komponen pelengkap mengacu pada data yang diambil dari Gardu Induk Pedan. Serta sebagian data merupakan data standart yang telah ada pada program ETAP 7.0.0



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

IV. PEMBAHASAN

Relai Arus Lebih SPAJ 140C

Relai arus lebih merupakan relai yang bekerja berdasarkan besarnya arus masukan. Jika arus masukan melebihi suatu harga tertentu yang dapat diatur (I_p), maka relai ini akan bekerja. I_p adalah arus kerja yang dinyatakan menurut gulungan sekunder dari transformator arus (CT). Relai akan bekerja jika memenuhi standar dan keadaan di bawah ini :

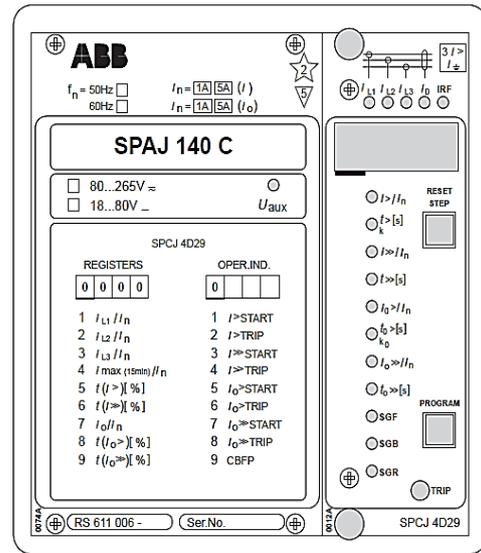
If $> I_p$ relai bekerja (*trip*)

If $< I_p$ relai tidak bekerja (*block*)

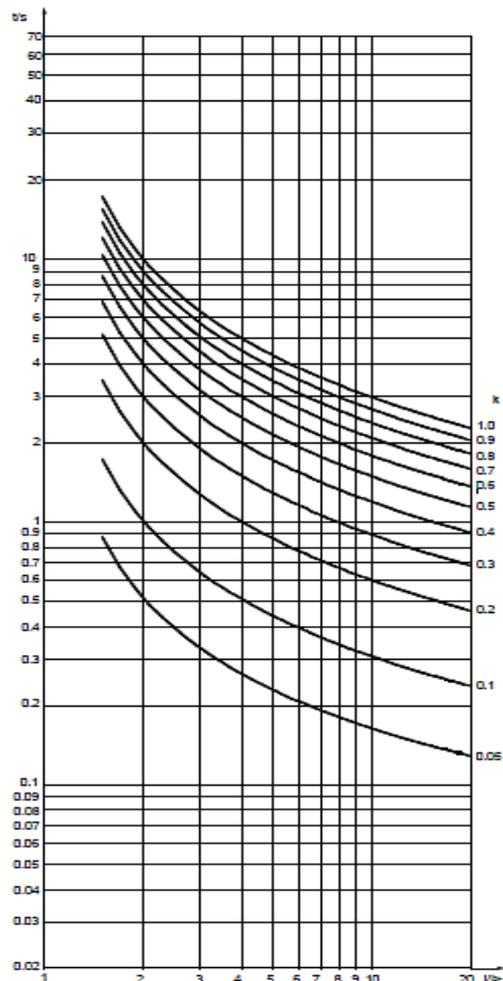
Tabel 1. Data OCR

Merk	SPAJ 140C
Pabrik	ABB
Rasio CT	200/1
Arus Setting (I_{set})	$0.63 \times I_n$
Time Delay (td)	1 s
Kurva	Standar <i>Inverse</i>

Sumber : PT. PLN Pedan



Gambar 4. OCR SPAJ 140C



Gambar 5. Kurva *Standard Inverse* OCR SPAJ 140C

Beban Lebih Dan Arus Lebih

Terjadinya gangguan internal pada pembangkit yang berlangsung selama 0.267 jam (16 menit 2 detik) menyebabkan relai diferensial yang ada pada pembangkit tersebut bekerja memerintahkan PMT agar memutuskan hubungan listrik (*trip*). Transformator II yang ada di gardu induk Pedan bekerja sama dengan pembangkit untuk menyuplai beban ke penyulang (*feeder*). Inilah yang menyebabkan ketika terjadi *trip* pada pembangkit seluruh beban yang mengalir pada pembangkit harus ditampung oleh transformator II sehingga mengalami *trip*.

Beban maksimum yang dapat mengalir pada transformator adalah :

$$\begin{aligned}
 P(\text{trafo}) &= \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \theta \\
 &= \sqrt{3} \times 150 \text{ kV} \times 126 \text{ A} \times 0.9 \\
 &= 32697 \text{ kVA} \\
 &= 32.697 \text{ MVA} \times 0.9 \\
 &= 29,4273 \text{ MW}
 \end{aligned}$$

Maka beban lebih yang mengalir pada transformator ketika pembangkit *trip* dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P_{\text{over}}(\text{trafo}) &= P_{\text{normal}}(\text{trafo}) + \\
 &P_{\text{normal}}(\text{pembangkit}) \\
 &= 25 \text{ MW} + 5.5 \text{ MW} \\
 &= 30,5 \text{ MW}
 \end{aligned}$$

Sedangkan arus maksimum yang mengalir pada transformator adalah :

$$\begin{aligned}
 I_{\text{max}}(\text{trafo}) &= \frac{P}{\sqrt{3} (V) (\cos \theta)} \\
 &= \frac{25 \text{ MVA}}{\sqrt{3} (150 \text{ kV}) (0,9)} \\
 &= \frac{25 \text{ MVA}}{\sqrt{3} 0.15 \text{ MV} (0,9)} \\
 &= \frac{25 \text{ MVA}}{0.23355 \text{ MV}} \\
 &= 107,0435 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Pada saat gangguan terjadi, pembebanan pada transformator sebesar 110%, maka arus maksimum yang mengalir pada transformator sebesar :

$$\begin{aligned}
 I_{\text{max}}(\text{trafo}) \text{ setelah diberi pembebanan} &= \frac{P}{\sqrt{3} (V) (\cos \theta)} \times 110\% \\
 &= \frac{25 \text{ MVA}}{\sqrt{3} (150 \text{ kV}) (0,9)} \times \\
 &110\% \\
 &= \frac{25 \text{ MVA}}{\sqrt{3} 0.15 \text{ MV} (0,9)} \times \\
 &110\% \\
 &= \frac{25 \text{ MVA}}{0.23355 \text{ MV}} \times 110\% \\
 &= 107.0435 \text{ A} \times 110\% \\
 &= 117,7478 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Dengan beban lebih yang mengalir pada transformator sebesar 30.5 MW, maka arus yang mengalir pada transformator juga akan melebihi

arus maksimum.

Arus Lebih yang Mengalir pada Transformator :

$$\begin{aligned} I_{\max}(\text{trafo}) &= \frac{P}{\sqrt{3} (V) (\cos \theta)} \\ &= \frac{30.5 \text{ MV}}{\sqrt{3} (150 \text{ kV}) (0,9)} \\ &= \frac{30.5 \text{ MVA}}{\sqrt{3} (0.15 \text{ MV}) (0,9)} \\ &= \frac{30.5 \text{ MVA}}{0.23355 \text{ MV}} \\ &= 130,593 \text{ A} \end{aligned}$$

Ketika pembangkit mengalami gangguan dan *trip*, transformator II yang ada di gardu induk Pedan mengalami gangguan beban lebih dan arus lebih karena harus menampung beban dan arus yang mengalir dari pembangkit, yaitu masing-masing sebesar 30.5 MW dan 130.593 A.

KINERA OCR SPAJ 140C

Karena terjadi gangguan beban lebih dan arus lebih, maka OCR akan bekerja memerintahkan PMT untuk *trip*. Dari besar beban lebih dan arus lebih yang telah diperoleh, maka dapat diketahui waktu kerja OCR dalam melindungi transformator dari gangguan yang terjadi.

Arus Setting OCR SPAJ 140C

Perhitungan arus setting OCR adalah sebagai berikut :

$$I_{set} \text{ OCR} = 0.63 \times I_n$$

I_n adalah rasio CT

(200/1), maka :

$$\begin{aligned} I_{set} \text{ OCR} &= 0.63 \times 200 \\ &= 126 \text{ A} \end{aligned}$$

Waktu Kerja OCR SPAJ 140C

Sedangkan perhitungan waktu kerja OCR adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} t &= t_d \times \frac{\beta}{\left(\frac{I_f}{I_{set}}\right)^\alpha - 1} \\ &= 1 \times \frac{0.14}{\left(\frac{130.59}{126}\right)^{0.02} - 1} \\ &= 1 \times \frac{0.14}{(1.0036429)^{0.02} - 1} \\ &= 1 \times \frac{0.14}{1.000716 - 1} \\ &= \frac{0.14}{0.000716} \\ &= 195.566 \text{ detik} \end{aligned}$$

Dengan beban sebesar 30.5 MW dan arus sebesar 130.59 A yang mengalir pada transformator, maka OCR bekerja dalam waktu 195.566 detik (3 menit 25 detik) untuk memerintahkan PMT agar melepas hubungan listrik.

Tabel 2. Kinerja OCR Terhadap Gangguan Arus Lebih

I_{max} (A)	I_{set} OCR	n	I_{fault} (A)	t OCR (s)
117.7478	126	1	130.593	195.566
117.7478	126	2	261.18	9.53
117.7478	126	3	391.77	6.10
117.7478	126	4	522.36	4.85
117.7478	126	5	652.95	4.19
117.7478	126	6	783.54	3.76
117.7478	126	7	914.13	3.46
117.7478	126	8	1044.72	3.24
117.7478	126	9	1175.31	3.07
117.7478	126	10	1305.9	2.92

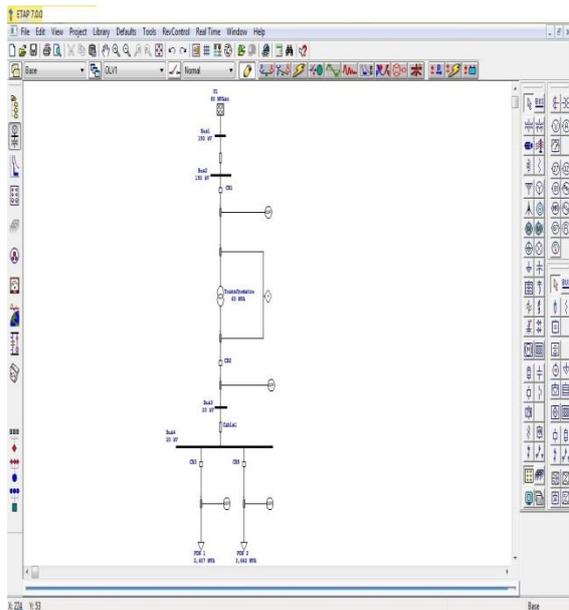
Berhubungan dengan hal ini, maka untuk menghindari gangguan agar tidak terjadi lagi, maka terdapat beberapa solusi, yaitu:

1. Melakukan penambahan jumlah transformator.
2. Melakukan pengaturan ulang terhadap pembebanan transformator dan terhadap arus *setting* relai arus lebih. Pembebanan yang ideal untuk sebuah transformator daya adalah 80%.
3. Selain melakukan pengaturan

ulang pada transformator, pada pembangkit juga perlu dilakukan *setting* ulang, agar ketika terjadi gangguan, pembangkit tidak mengalami *trip* dan dengan begitu transformator yang terhubung dengan pembangkit juga tidak mengalami *trip*.

Simulasi OCR Transformator Daya Menggunakan ETAP 7.0.0

Pemodelan dilakukan berdasarkan kontruksi dan gambar dari data PLN. Kemudian melakukan pemodelan dalam *software* ETAP 7.0.0, setelah melakukan pemodelan langkah selanjutnya adalah proses pemasukan beberapa data umum dari transformator I GI Pedan beserta relai dan kelengkapannya. Transformator yang digunakan pada simulasi ini adalah transformator *step down*, 150 kV/20 kV, Y-Y, 30 MVA dengan tegangan tinggi (TT) berada di sisi primer transformator dan tegangan rendah (TR) berada pada sisi sekunder. Kemudian didapat hasil sebagai berikut:



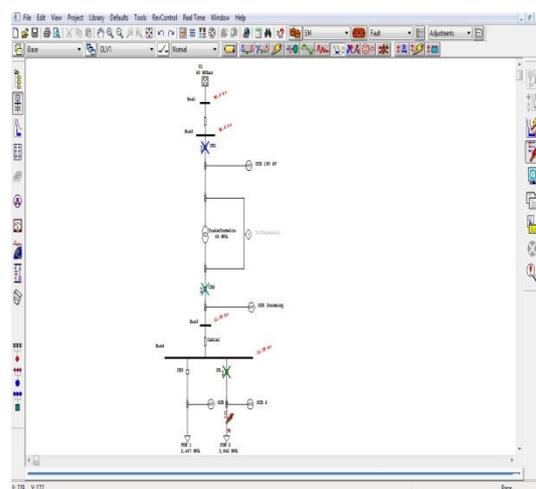
Gambar 6. Proteksi OCR pada Transformator Daya saat Kondisi Normal

Hasil Simulasi OCR Transformator Daya Menggunakan ETAP 7.0.0

Relai arus lebih adalah relai yang bekerja apabila mendeteksi adanya arus lebih yang mengalir pada jaringan listrik. Kerja relai ini dibantu oleh CT (trafo arus) yang dipakai sebagai pembanding arus yang masuk untuk dibaca oleh relai dari arus yang ada pada jaringan listrik. Kegunaan relai ini pada transformator adalah sebagai relai cadangan atau *back up* apabila relai utama *relay differensial* dan *Restricted Earth Fault (REF)* mengalami kegagalan proteksi. Setelah relai mendeteksi adanya gangguan maka relai ini akan memberi perintah kepada PMT untuk memutus arus lebih tersebut.

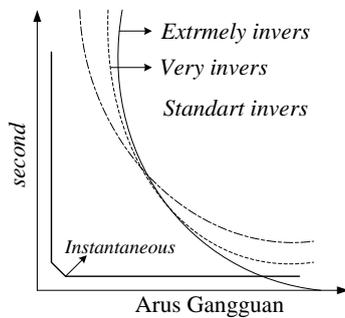
Setelah mendapatkan data yang diinginkan, kemudian membuat pemodelan proteksi dengan relai arus lebih terhadap transformator daya yang ditambah dengan peralatan pendukung untuk pembuatan pemodelan proteksi menggunakan aplikasi *software* ETAP. Pada transformator daya berkapasitas 30 MVA dengan tegangan primer 150 kV dan tegangan sekunder 20 kV. Untuk relai yang digunakan adalah *merk* UNINDO AREVA. Setelah data lengkap dan rangkain pemodelan selesai dibuat dengan ETAP, maka didapat hasil seperti pada gambar 6.

Setelah pemodelan selesai dibuat, kemudian pemodelan diuji dengan diberi gangguan. Ganggaun yang diberikan hanya untuk mengetahui simulasi kerja dari relai arus lebih. Hasil ini dapat dilihat pada gambar 7.



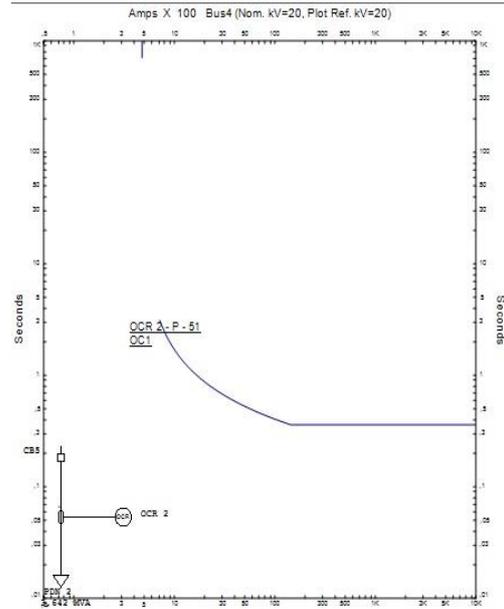
Gambar 7. Proteksi OCR pada Transformator Daya

Gardu Induk Pedan merupakan jenis relai memiliki kurva *standart inverse* atau *normal inverse* dimana sesuai dengan jenis kurvanya seperti pada gambar 8, dimana antar satu relai arus lebih dengan relai lainnya saling mem-*backup* dengan perbedaan waktu pemutusan pada masing-masing relai, sehingga tidak ada tumpang tindih daerah kerja.



Gambar 8. Karakteristik relai tipe *inverse*

Setelah melakukan simulasi unjuk kerja OCR sebagai relai *backup* pada ETAP dengan menggunakan metode *star protective*, maka didapatkan karakteristik relai arus lebih pada tegangan 150 kV dan tegangan 20 kV juga spesifikasi peralatan pendukung yang digunakan untuk simulasi seperti pada gambar 9.



Gambar 9. Karakteristik Waktu OCR pada Transformator Daya

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis data yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Dari hasil perhitungan gangguan yang terjadi pada transformator II di gardu induk Pedan, gangguan yang terjadi sangat berpengaruh terhadap kinerja OCR. Semakin besar nilai gangguan yang terjadi, OCR akan bekerja semakin cepat. Sebaliknya, semakin kecil nilai gangguan yang terjadi, OCR akan bekerja semakin lama. Hal ini dapat dilihat dari nilai arus gangguan yang terjadi pada transformator yaitu sebesar 130.59 A. Nilai ini merupakan nilai yang

sangat kecil, maka OCR pun akan bekerja dalam waktu yang sangat lama terhitung dari gangguan terjadi yaitu 3 menit 25 detik.

2. Berdasarkan data rekap gangguan pada gardu induk Pedan, PT. PLN (Persero) P3B Jawa Bali APP Salatiga Gardu Induk Pedan, jumlah transformator sudah termasuk kurang. Dengan beban yang semakin meningkat setiap harinya menuntut adanya penambahan jumlah transformator pada gardu induk Pedan. Karena hal ini sangat membahayakan keselamatan sistem tenaga listrik yang ada di gardu induk Pedan dan kenyamanan konsumen juga akan berkurang. Selain dengan melakukan penambahan jumlah transformator, pengaturan ulang terhadap transformator tersebut juga sangat perlu dilakukan.
3. Relai yang digunakan di gardu induk Pedan merupakan relai yang telah memenuhi standar dari sebuah peralatan proteksi. Sesering apapun dan sebesar apapun gangguan yang terjadi, relai tetap dapat bekerja dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Affandi, Irfan, 2009, "Analisa Setting Relai Arus Lebih Dan Relai Gangguan Tanah Pada Penyulang Sadewa Di GI Cawang", Skripsi, Jakarta: Fakultas Teknik Universitas Indonesia
- Ayub, Said, (2008). Koordinasi Sistem Proteksi Over Current Relay Tipe BEI-51 Pada Transformator Daya Dengan Ground Fault Relay. *Jurnal Litek Volume 5, Nomor 1, Maret 2008 ; hal.22-26.*
- Harrij Mukti K, (2007). Aplikasi Teknologi Simulasi Rele Diferensial dan Rele Bucholz pada Sistem Pengaman Transformator 3 Fasa. *Jurnal ELTEK Volume 05 Nomor 01, April 2007 ISSN 1693-4024 .*
- Marsudi, D. (2011). *Pembangkitan Energi Listrik Edisi Kedua.* Jakarta: Erlangga.
- Nova, Tirza; Syahrial, 2013, "Perhitungan Setting Rele OCR Dan GFR Pada Sistem Interkoneksi Diesel Generator Di Perusahaan "X"", Jurnal, Bandung: Institut Teknologi Nasional
- Purnama Sigid, (2009). Analisa Pengaruh Pembebanan Terhadap Susut Umur Transformator Tenaga. *Universitas Diponegoro, Semarang.*
- PT. PLN (Persero). (2009). Himpunan Buku Petunjuk Batasan Operasi dan Pemeliharaan Peralatan Penyaluran Tenaga

Listrik. Transformator
Tenaga, (No. Dokumen : 1-22
/ HARLUR - PST/2009).
Jakarta Selatan.

Sumanto. (1996). *Teori Transformator*.
Yogyakarta: Andi Offset.

Syukriyadin, Syahrizal, Cut Rizky
Nakhrisya, (2011). Analisis
Proteksi Relay Differensial
Terhadap Gangguan Internal
dan Eksternal Transformator
Menggunakan
PSCAD/EMTDC.
JurnalRekayasa Elekrika
Vol. 9, No. 3, April 2011.