

PEMASANGAN RELE DEFERENSIAL PADA TRAFODAYA DENGAN VEKTOR GROUP YANG BERBEDA

Taufik Tribrata Yogi⁽¹⁾, Dedeng Herlan⁽²⁾

⁽¹⁾PT. PLN (Persero) Unit Pembangkitan Muara Karang Jakarta

⁽²⁾Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta

email: [f, tribratayogi@gmail.com](mailto:f,tribratayogi@gmail.com)

ABSTRAK

Penggantian transformator daya PLTG Muara Karang Unit GT 1. 3 dari vektor group YNd1 menjadi YNd11 akan menyebabkan perbedaan sudut fasa pada sisi sekundernya, dari 30^0 menjadi -30^0 . Perbedaan sudut fasa tersebut akan berpengaruh pada kerja rele diferensial transformator daya. Arus yang masuk pada rele diferensial akan menjadi lebih besar dari 0,0414 A menjadi 4,3204 A. Dan menyebabkan rele bekerja saat kondisi normal operasi karena setting rele diferensial adalah 1,5 A. Untuk mengatasi masalah pada rele diferensial dilakukan perubahan sambungan vektor group pada ACT rele diferensial yang berfungsi sebagai penyesuai arus dan penyesuai sudut fasa. Sehingga perbedaan arus dari kedua sisi rele diferensial menjadi 0,1079 A dan rele diferensial tidak bekerja saat kondisi normal operasi.

Kata kunci: transformator daya, vektor group, rele deferensial, CT-bantu, setting arus rele

ABSTRACT

Replacement of power transformer in PLTG Muara Karang Unit GT 1. 3 from YNd1 into YNd11 vector group will lead to phase angle difference at the secondary side from 30^0 into -30^0 . The difference in phase angle will influence the performance of differential rele in power transformer. The incoming current to the differential rele will increase from 0. 0414 A into 4. 3204 A, which causes the rele to work at normal operating condition because the setting of differential rele is 1. 5 A. To overcome this differential rele problem, a change in vector group connection was conducted on an ACT differential rele that functions as a current and phase angle adjuster. Therefore the difference in current between both sides of differential rele lowers to 0. 1079 A and the rele cannot work at normal operating condition.

Keywords: power transformer, vector group, differentialrele, assisting-CT, rele current setting

1. PENDAHULUAN

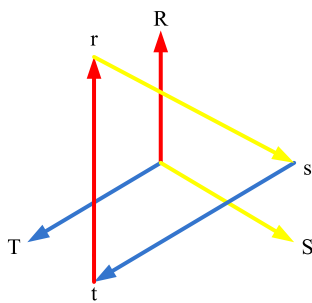
Energi listrik memegang peranan yang sangat penting di dalam menunjang segala aktivitas masyarakat, sehingga penyaluran energi listrik diperlukan untuk menyuplai beban-beban yang ada. Keandalan listrik saat ini menjadi sangat penting baik dari sisi beban listrik maupun sisi pembangkit listrik. Transformator daya merupakan salah satu komponen utama pembangkit yang sangat berpengaruh pada operasi pembangkitan tenaga listrik. Pada PLTGU Muara Karang terdapat 3 unit Turbin Gas dan 1 unit Turbin Uap. Tiga unit Turbin Gas

tersebut adalah GT 1. 1, GT 1. 2 dan GT 1. 3 yang masing-masing berkapasitas 140 MW. Karena besarnya kapasitas transformator tersebut semakin mahal juga harga dari sebuah transformator, untuk itu diperlukan pengaman utama untuk menjaga kehandalan transformator dari gangguan arus lebih pada sisi primer atau sekunder. Untukmenanggulangi kekurangan pasokan tenaga listrik yang terlalu lama maka dilakukan relokasi generator dan transformator daya dari PLTGU Tambak Lorok (Semarang) ke PLTGU Muara Karang (Jakarta). Karena proses pembelian generator dan transformator daya membutuhkan waktu yang lama. Akan tetapi

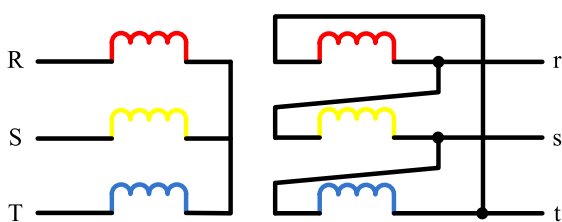
transformator dari Tambak Lorok tersebut mempunyai kapasitas, rasio CT, dan vektor grup yang tidak sama. Sehingga perlu dilakukan beberapa perubahan *wiring* peralatan bantu pada Unit GT 1. 3 PLTGU Muara Karang yaitu proteksi/rele diferensial transformator agar dapat beroperasi normal. Karena beberapa peralatan bantu tersebut berpengaruh sangat besar terhadap pengoperasian pembangkit tenaga listrik.

Pergeseran Fasa Pada Transformator

Istilah *vector group* biasanya dikenal dengan pergeseran sudut fasa. Konfigurasi belitan transformator tiga fasa bisa menyebabkan pergeseran sudut fasa antara sisi primer dengan sisi sekunder. Tegangan dan arus bisa mengalami pergeseran sudut fasa. Misalnya pada sambungan Y-Δ, yaitu sisi primer disambung bintang dan sisi sekunder disambung segitiga/delta. Tegangan dan arus pada sisi sekunder akan mengalami pergeseran sudut fasa. Seperti ditunjukkan pada Gambar 1., tegangan fasa R pada sisi sekunder bergeser 30° dari tegangan fasa R sisi primer. Tegangan fasa r mendahului fasa R sebesar 30°. Sudut tegangan fasa r tersebut pada arah jam 11, sehingga sambungan ini disebut sambungan YD11. Sedangkan konfigurasi sambungan belitan transformator YD11 ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. *Vector group*



Gambar 2. *Wiring Vector group*

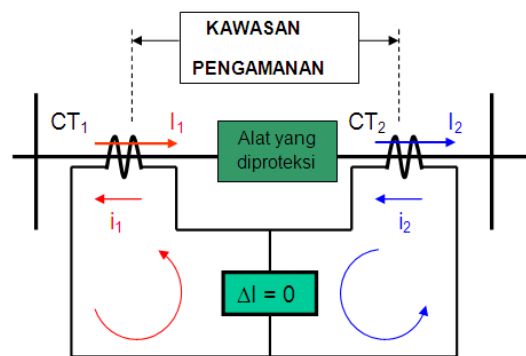
Selain vektor group Yd11 tersebut, konfigurasi belitan transformator akan menyebabkan pergeseran fasa/angka jam transformator yang lain, misalnya seperti ditunjukkan pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Konfigurasi angka jam transformator

Phasa shift (deg)	Connections	
0	Yy0	Dd0
30 lag	Yd1	Dy1
150 lag	Yd5	Dy5
180 lag	Yy6	Dd6
150 lead	Yd7	Dy7
30 lead	Yd11	Dy11

Rele Diferensial

Prinsip kerja rele diferensial adalah membandingkan dua vektor arus atau lebih yang masuk ke rele seperti terlihat pada Gambar 3., apabila pada sisi primer trafo arus (CT₁) dialiri arus I₁, maka pada sisi primer trafo arus (CT₂) akan mengalir arus I₂, pada saat yang sama sisi sekunder kedua trafo arus (CT₁ dan CT₂), akan mengalir arus i₁ dan i₂ yang besarnya tergantung dari rasio yang terpasang, jika besarnya i₁ = i₂ maka rele tidak bekerja, karena tidak ada selisih arus (Δi = 0), tetapi jika besarnya arus i₁ ≠ i₂ maka rele akan bekerja, karena adanya selisih arus (Δi ≠ 0). Selisih arus ini disebut arus diferensial, arus inilah yang menjadi dasar bekerjanya rele diferensial. Dalam keadaan normal (tidak ada gangguan), arus yang mengalir ke rele diferensial sama dengan nol, arus hanya bersikulasi dalam sirkuit sekunder kedua trafo arus (CT).



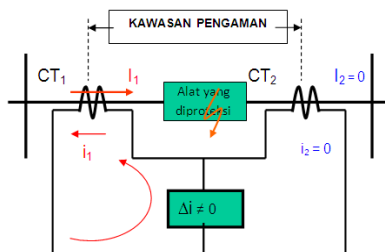
Gambar 3. Rangkaian sederhana rele diferensial

Agar rele diferensial dalam kondisi normal/tidak terjadi gangguan rele tidak bekerja, maka persyaratannya adalah sebagai berikut:

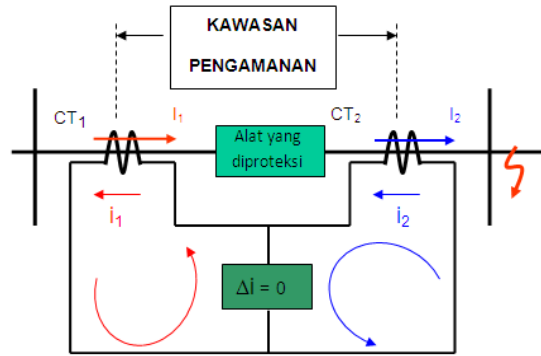
- CT₁ dan CT₂ (maupun ACT nya) harus mempunyai rasio sedemikian sehingga besar arus $i_1 = i_2$.
- Sambungan dan polaritas CT₁ dan CT₂ maupun ACT nya harus benar.

Jika rele diferensial dipasang sebagai proteksi suatu peralatan dan terjadi gangguan di daerah pengamanannya maka rele diferensial harus bekerja, seperti terlihat pada Gambar 4. Pada saat CT₁ mengalir arus I_1 maka pada CT₂ tidak ada arus yang mengalir ($I_2 = 0$), disebabkan karena arus gangguan mengalir pada titik gangguan sehingga pada CT₂ tidak ada arus yang mengalir, maka disisi sekunder CT₂ tidak ada arus yang mengalir ($i_2 = 0$) yang mengakibatkan $i_1 \neq i_2$ ($\Delta i \neq 0$) sehingga rele diferensial bekerja.

Apabila terjadinya gangguan di luar daerah pengamanannya maka rele diferensial tidak bekerja seperti dapat dilihat pada Gambar 5. Pada saat sisi primer kedua CT dialiri arus I_1 dan I_2 yang sangat besar karena gangguan hubung singkat, besar dan arah arus pada sekunder CT₁ dan CT₂ yang menuju rele besarnya sama ($i_1 = i_2$) atau dengan kata lain tidak ada selisih arus yang mengalir pada rele sehingga rele tidak bekerja. Sirkulasi arus gangguan di luar daerah pengamanannya kerja rele diferensial hanya berpengaruh pada besarnya arus yang mengalir pada sisi sekunder kedua CT tapi dengan perubahan arus $i_1 = i_2$. Arah arus i_1 dan i_2 juga tidak berubah sehingga rele diferensial tidak bekerja karena tidak ada perbedaan arus ($\Delta i = 0$).



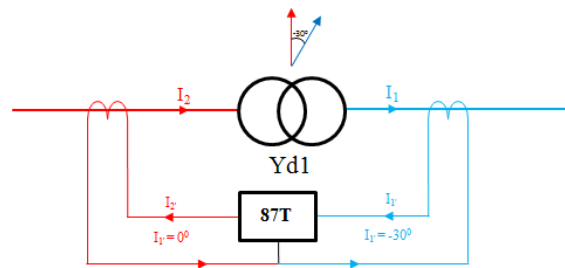
Gambar 4. Rele diferensial dengan gangguan di daerah pengamanannya



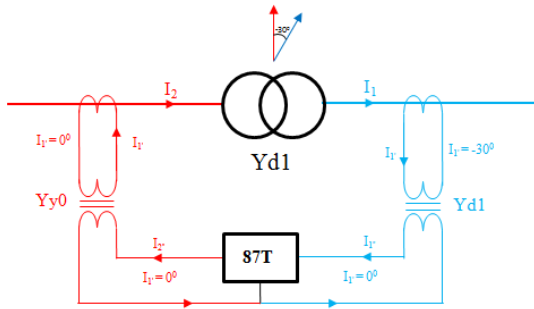
Gambar 5. Rele diferensial dengan gangguan di luar daerah pengamanannya

Pada transformator daya yang mengalami pergeseran sudut fasa antara sisi primer dan sisi sekunder karena pengaruh kombinasi sambungan belitan, perlu ditambah Auxiliary Current Transformer / ACT sebagai penyesuaian fasa dan besar arus.

Misalnya pada transformator daya dengan sambungan Yd1, pada sisi sekunder akan mengalami pergeseran fasa sebesar -30° atau 330° . Seperti yang terlihat pada Gambar 6. jika tidak ditambahkan ACT maka arus yang mengalir pada rele diferensial akan bergeser sebesar -30° , sehingga perbedaan arus ΔI akan menjadi lebih besar dan bisa mengerjakan rele. Untuk mengatasi hal tersebut perlu ditambahkan ACT agar sudut fasa arus yang masuk pada kedua sisi rele diferensial tidak terjadi pergeseran fasa. Penambahan ACT tersebut terlihat pada Gambar 7.

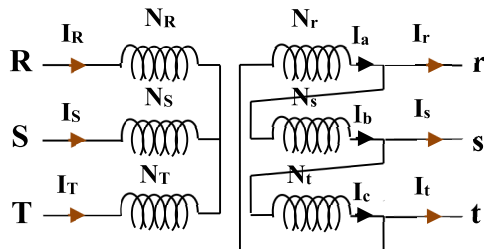


Gambar 6. Perbedaan sudut fasa pada rele diferensial



Gambar 7. Penambahan ACT pada rele diferensial

Selain penyesuaian fasa, ACT juga digunakan sebagai penyesuaian arus. Konfigurasi sambungan ACT bisa disambung star - delta atau star - star. Gambar 8. adalah ACT dengan sambungan star - delta.



Gambar 8. ACT sambungan star - delta

N_R, N_S, N_T adalah N_P atau belitan primer, I_R, I_S, I_T adalah I_P atau arus primer. N_r, N_s, N_t adalah N_S atau belitan sekunder. I_r, I_s, I_t adalah I_S atau arus sekunder. I_a, I_b, I_c adalah I_{ps} arus fasa sekunder. Sehingga dapat ditulis:

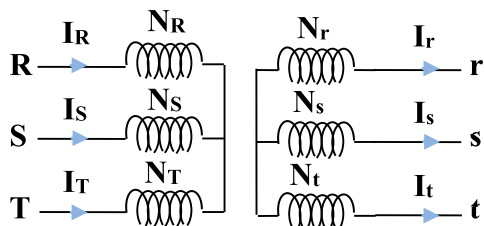
$$I_P \cdot N_P = I_{ps} \cdot N_S$$

$$I_P \cdot N_P = \frac{I_S}{\sqrt{3}} \cdot N_S$$

$$N_P = \frac{I_S \cdot N_S}{I_P \cdot \sqrt{3}}$$

$$I_S = \frac{I_P \cdot N_P \cdot \sqrt{3}}{N_S}$$

Sedangkan ACT dengan sambungan star - star dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. ACT sambungan star - star

$$I_R \cdot N_R = I_r \cdot N_r$$

$$I_P \cdot N_P = I_S \cdot N_S$$

$$N_P = \frac{I_S \cdot N_S}{I_P}$$

$$I_S = \frac{I_P \cdot N_P}{N_S}$$

Agar perbedaan arus/ Δi pada kedua sisi rele diferensial tidak terlalu besar pada kondisi normal tanpa gangguan. Karena Δi yang terlalu besar dapat menyebabkan rele bekerja dan mengirim sinyal trip ke PMT. Besarnya Δi dapat dituliskan:

$$\Delta i = I_1 + I_2$$

PERUBAHAN VEKTOR GROUP

Untuk melengkapi perhitungan, pada bab ini akan disebutkan data-data dari transformator daya, rele diferensial dan ACT. Data-data alat adalah transformator daya dan rasio interposing/ACT masing-masing pada Tabel 2. dan Tabel 3

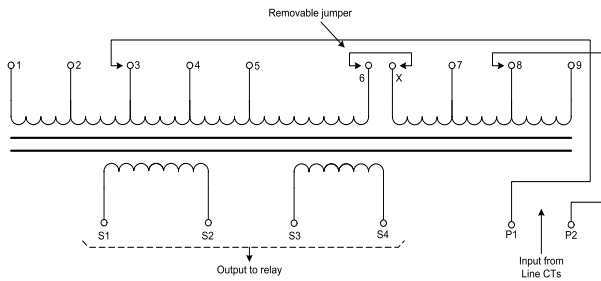
Tabel 2. Data Transformator daya

	Transformator Mitsubishi (Transformator Lama)	Transformator Meiden (Transformator Baru)
Rated power	105/140 MVA	119 / 145 MVA
Cooling	ONAN/OFAF	ONAN/OFAF
Frekuensi	50 Hz	50 Hz
Rated Voltage HV	150 KV	150 KV
Rated Voltage LV	11,5 KV	11,5 KV
Connection Symbol	YNd1	YNd11
Total Mass	131. 000 kg	127. 000 kg
Rated Current HV	404 / 539 A	458,031 / 558,105 A
Rated Current LV	5271 / 7029 A	5974,32 / 7279,633 A
CT Ratio HV	600/5	-
CT Ratio LV	8000/5	10000/5

1. Rele Diferensial
 - Merek = ALSTOM
 - Type = MBCH 12
 - Frekuensi = 50 Hz
 - In = 5 A
 - Isetting = 0,3 In
2. Auxiliary interposing transformers (ACT)
 - In = 5 A

Tabel 3. Rasio belitan *interposing*/ACT

Primary Winding Taps	Number of Turns		
	Transformer Rating		
	0,577-1,732 / 1 A	2,886-8,66 / 1 A	2,886-8,66 / 5 A
1 - 2	5	1	1
2 - 3	5	1	1
3 - 4	5	1	1
4 - 5	5	1	1
5 - 6	125	25	25
x - 7	25	5	5
7 - 8	25	5	5
8 - 9	25	5	5
S1 - S2	125	125	25
S3 - S4	90	90	18

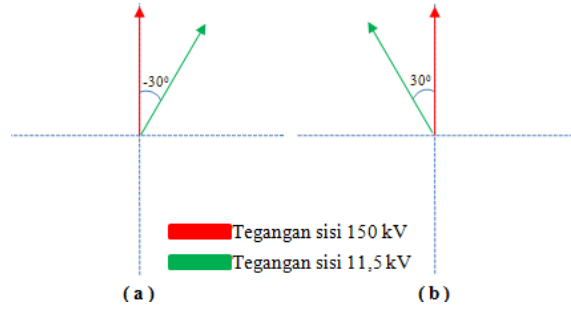


Gambar 10. Belitan *Interposing*/ACT

Penggantian Transformator Daya Dari YNd1 menjadi YNd11

Transformator daya adalah transformator penaik tegangan dari generator untuk disalurkan ke saluran transmisi. Tegangan keluaran generator unit GT 1. 3 adalah 11,5 kV, kemudian dinaikkan menjadi 150 kV oleh transformator daya tersebut. Paralel tegangan dilakukan di sisi 150 kV karena pada sisi 11,5 kV tidak terdapat PMT.

Sebelum terjadi gangguan sambungan transformator daya adalah YNd1, namun setelah terjadi kerusakan pada transformator daya tersebut kemudian diganti menjadi YNd11. Sehingga perbedaan sudut tegangan dari sisi 150 kV ke 11,5 kV berubah, dari -30^0 menjadi $+30^0$. Perubahan perbedaan sudut tegangan tersebut ditunjukkan oleh gambar 11. Selain itu dalam penggantian transformator daya tidak terdapat CT disisi 150 kV sehingga rele diferensial tidak dapat beroperasi.

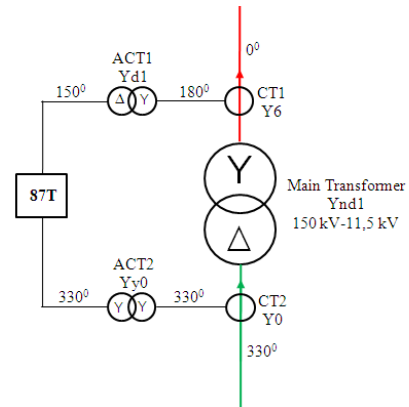


Gambar 11. Perubahan sudut fasa tegangan dari -30^0 menjadi $+30^0$

Perubahan sudut fasa tersebut mengakibatkan sudut arus ACT pada rele diferensial juga akan berubah. Sehingga perbedaan arus yang masuk pada kedua sisi rele diferensial akan menjadi lebih besar dan akan mengerjakan rele.

Perhitungan rele deferensial sebelum penggantian transformator

Vektor grup pada transformator akan berpengaruh terhadap besar sudut arus CT untuk rele diferensial. Besarnya sudut arus tersebut dapat dilihat pada Gambar 12. Pada CT₂ disambung Y0, sehingga sudut arus pada sisi sekunder CT₂ sama dengan sudut arus sisi primernya yaitu 330^0 . Pada ACT₂ disambung Yy0, sehingga sudut arus sisi sekunder ACT₂ 330^0 sama dengan sisi primernya. Sedangkan pada CT₁ disambung Y6, sehingga sudut arus pada sisi sekunder CT₁ berlawanan arah dengan sisi primernya, yaitu 180^0 . Karena ACT₁ disambung YNd1, maka sudut arus di sisi sekundernya adalah $180^0 - 30^0$ yaitu sebesar 150^0 . Sehingga sudut arus yang masuk pada kedua sisi rele diferensial adalah $i \angle 150^0$ dan $i \angle 330^0$.



Gambar 12. Sudut arus pada rele diferensial, sebelum gangguan

Besarnya arus nominal transformator daya sisi 150 kV dapat dihitung dan hasilnya sebesar = 538,860 A . Dengan rasio CT₁ adalah 600:5, maka arus CT₁ sisi sekunder sebesar $I_{CT1} = 4,4905 A$ Sambungan ACT₁ yang lama untuk rele diferensial adalah:

$$N_1 = 26 \text{ turn, tap 4 - 6}$$

$$N_2 = 43 \text{ turn, tap S1 - S4}$$

Sesuai dengan hasil N₁ dan N₂ sehingga dalam pemasangan pada tap nya disesuaikan dengan nilai tersebut seperti yang terdapat pada **Tabel 3**. Pada tabel tersebut yang dipakai *rating* 2,886-8,66 / 5 A. Sehingga arus ACT₁ sisi sekunder dapat dihitung dan besarnya $I_{ACT1} = 4,7028 A$ Karena besar sudut arus yang masuk dari sisi sekuder ACT₁ ke rele diferensial adalah sebesar 150⁰, maka arus pada ACT₁ sebesar $4,7028 \angle 150^0 A$. Arus nominal transformator daya sisi 11,5 kV sebesar $I_n = 7028,612 A$. Rasio CT₂ adalah 8000:5, sehingga besarnya arus pada CT₂ sebesar $I_{CT2} = 4,3928 A$. Sambungan ACT₂ yang lama untuk rele diferensial adalah:

$$N_1 = 27 \text{ turn, tap 3-6}$$

$$N_2 = 25 \text{ turn, tap S1-S2}$$

Sesuai dengan hasil N₁ dan N₂ sehingga dalam pemasangan pada tap nya disesuaikan dengan nilai tersebut seperti yang terdapat pada **Tabel 3**. yaitu Tabel rasio belitan *interposing*/ACT. Pada tabel tersebut yang dipakai *rating* 2,886-8,66 / 5 A. Sehingga arus ACT₂ sisi sekunder sebesar $I_{ACT2} = 4,7442 A$. Karena besar sudut arus yang masuk dari sisi sekuder ACT₂ ke rele diferensial adalah sebesar 330⁰ seperti pada gambar 4. 4, maka arus pada ACT₂ sebesar $4,7442 \angle 330^0 A$. Sehingga besarnya selisih arus Δi yang masuk pada rele diferensial sebesar $\Delta i = 0,0414 \angle 330,03^0 A$ Jadi besarnya selisih arus yang masuk ke rele diferensial sebelum penggantian transformator daya adalah sebesar 0,0414 A. Setting rele diferensial adalah 0,3 I_n rele, yaitu sebesar 0,3 x 5 A = 1,5 A. Sehingga rele diferensial tidak akan bekerja pada kondisi normal.

Perhitungan rele deferensial setelah penggantian transformator tetapi wiring belum dimodifikasi

Setelah dilakukan pengantian transformator daya, maka sudut arus yang masuk pada rele

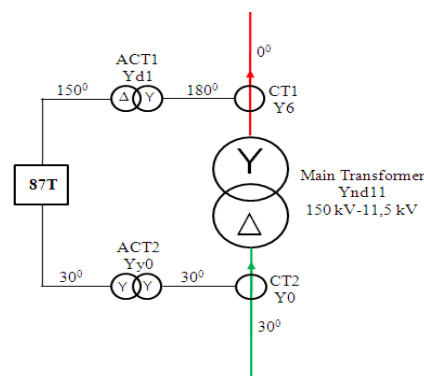
diferensial juga akan berubah. Karena vektor grup transformator daya berubah menjadi YNd11, sehingga sudut arus pada sisi 11,5 kV adalah 30⁰. Besarnya sudut arus tersebut dapat dilihat pada Gambar 13. Pada CT₂ disambung Y0, sehingga sudut arus pada sisi sekunder CT₂ sama dengan sudut arus sisi primernya yaitu 30⁰. Pada ACT₂ disambung Yy0, sehingga sudut arus sisi sekunder ACT₂ 30⁰ sama dengan sisi primernya. Sedangkan pada CT₁ disambung Y6, sehingga sudut arus pada sisi sekunder CT₁ berlawanan arah dengan sisi primernya, yaitu 180⁰. Karena ACT₁ disambung YNd1, maka sudut arus di sisi sekundernya adalah 180⁰ - 30⁰ yaitu sebesar 150⁰. Sehingga sudut arus yang masuk pada kedua sisi rele diferensial adalah $i \angle 150^0$ dan $i \angle 30^0$.

Rasio CT₂ pada sisi 11,5 kV berbeda, rasio CT₂ transformator lama adalah 8000:5. Sedangkan rasio CT₂ yang baru adalah 10000:5. Pada transformator baru tidak ada CT untuk rele diferensial pada sisi 150 kV (*exclude*). Sehingga perlu dilakukan penambahan *CT external* pada sisi HV. **Pada permasalahan ini dianggap transformator daya sudah terpasang CT pada sisi HV untuk membuktikan perhitungan.** Jika kapasitas transformator daya baru adalah 145 MVA, maka besarnya arus nominal transformator daya sisi 150 kV adalah $I_n = 558,105 A$. Oleh karena itu rasio CT₁ yang mendekati nilai di atas arus nominal dianggap 600:5. Arus CT₁ sisi sekunder sebesar $I_{CT1} = 4,6508 A$.

Sambungan ACT₁ yang lama untuk rele deferensial adalah:

$$N_1 = 26 \text{ turn, tap 4 - 6}$$

$$N_2 = 43 \text{ turn, tap S1 - S4}$$



Gambar 13. Sudut arus pada rele deferensial setelah penggantian transformator daya

Sesuai dengan hasil N_1 dan N_2 sehingga dalam pemasangan pada tap nya disesuaikan dengan nilai tersebut seperti yang terdapat pada Tabel 3. yaitu Tabel rasio belitan *interposing/ACT*. Pada tabel tersebut yang dipakai *rating* 2,886-8,66 / 5 A. Sehingga arus ACT_1 sisi sekunder dihitung sebesar $I_{ACT1} = 4,8707A$. Karena besar sudut arus yang masuk dari sisi sekunder ACT_1 ke rele diferensial adalah sebesar 150^0 maka arus pada ACT_1 sebesar $4,8707 \angle 150^0$ A. Arus nominal transformator daya sisi 11,5 kV dihitung sebesar $I_n = 7279,633$ A. Rasio CT_2 adalah 10000:5, sehingga besarnya arus pada CT_2 adalah $I_{CT2} = 3,6398$ A. Sambungan ACT_2 yang lama untuk rele diferensial adalah:

$$\begin{aligned} N_1 &= 27 \text{ turn, tap 3-6} \\ N_2 &= 25 \text{ turn, tap S1-S2} \end{aligned}$$

Sesuai dengan hasil N_1 dan N_2 sehingga dalam pemasangan pada tap nya disesuaikan dengan nilai tersebut seperti yang terdapat pada Tabel 3. yaitu Tabel rasio belitan *interposing/ACT* dipakai *rating* 2,886-8,66 / 5 A. Sehingga arus ACT_2 sisi sekunder dapat dihitung sebesar $I_{ACT2} = 3,3702$ A. Karena besar sudut arus yang masuk dari sisi sekunder ACT_2 ke rele diferensial adalah sebesar 30^0 seperti pada gambar 4. 6, maka arus pada ACT_2 sebesar $3,3702 \angle 30^0$ A. Sehingga besarnya selisih arus Δi yang masuk pada rele diferensial sebesar $\Delta i = 4,3204 \angle 107,50^0$ A Dengan selisih arus sebesar 4,3204 A akan mengerjakan rele diferensial saat kondisi normal operasi, karena Δi lebih besar dari nilai setting rele diferensial yaitu 30% arus nominal rele. Arus nominal rele diferensial adalah 5 A, maka 30% dari 5 A adalah sebesar 1,5 A. Dengan penggantian transformator daya dari Ynd1 menjadi Ynd11 akan menyebabkan rele diferensial bekerja pada kondisi normal operasi/*base load operation*. Untuk mengatasi hal tersebut perlu dilakukan perubahan vektor *group* pada ACT_1 dan perhitungan kembali rasio ACT_1 dan ACT_2 agar mendapatkan Δi sekecil mungkin saat kondisi normal operasi.

Perhitungan rele deferensial eetelah penggantian transformator dan modifikasi wiring

Perubahan vektor grup pada transformator daya akan membuat selisih arus yang masuk pada rele diferensial menjadi lebih besar melebihi setting rele diferensial. Untuk itu harus dilakukan

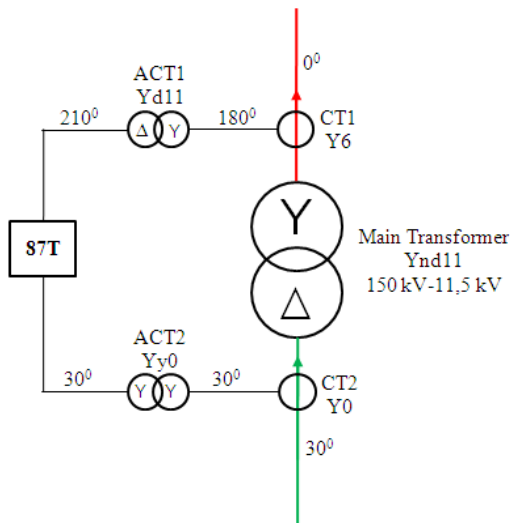
perubahan tap setting pada ACT_1 dan ACT_2 . Dalam merubah tap setting tersebut diperlukan perhitungan-perhitungan arus dan perubahan vektor grup ACT. Yaitu perhitungan arus pada sisi 150 kV dan sisi 11,5 kV. Arus nominal transformator pada sisi 150 kV dihitung sebesar $I_n = 558,105$ A. Jika rasio CT adalah 600:5, maka arus keluaran CT sebesar $I_{CT} = 4,6508$ A

Sambungan ACT_1 adalah $Y\Delta$, sesuai buku panduan "*Interposing Current Transformers For use in conjunction with Type MBCH Transformer Differential Protection*" maka $S1-S2$ dan $S3-S4$ pada N_2 ACT_1 harus disambung seri. Karena arus nominal rele diferensial adalah 5 A maka jumlah belitan pada N_2 adalah $25 + 18 = 43$ turn, sesuai dengan Tabel 3. Agar arus keluaran ACT_1 menjadi 5 A maka perhitungan rasio belitan ACT dihitung sebesar $N_1 = 26,69$ turn, dibulatkan menjadi 27 turn.

Sesuai dengan hasil N_1 sehingga dalam pemasangan pada tap nya disesuaikan dengan nilai tersebut seperti yang terdapat pada Tabel 3. yaitu Tabel rasio belitan *interposing/ACT* dipakai *rating* 2,886-8,66 / 5 A. Sehingga arus keluaran ACT_1 sebesar $I_{ACT1} = 5,0580A$

Arus nominal transformator pada sisi 11,5 kV dihitung sebesar $I_n = 7279,63$ A Jika rasio CT_2 adalah 10000:5, maka arus keluaran CT_2 adalah $I_{CT2} = 3,6398A$. Sambungan ACT_2 adalah YY , sesuai buku panduan "*Interposing Current Transformers For use in conjunction with Type MBCH Transformer Differential Protection*" N_2 dipilih $S1-S2$, yaitu 25 turn. Arus nominal rele diferensial adalah 5 A, agar arus keluaran ACT_2 menjadi 5 A maka perhitungan rasio belitan ACT_2 dihitung sebesar $N_1 = 34,34$ turn, dibulatkan menjadi 34 turn.

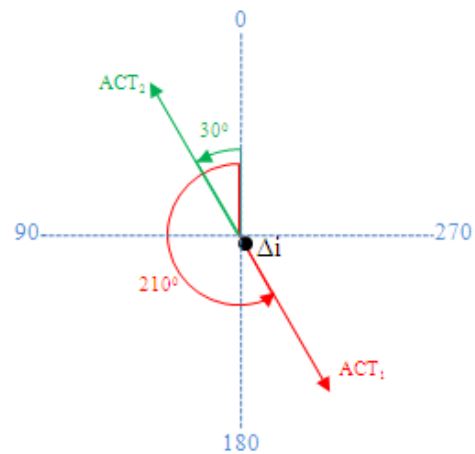
Sesuai dengan hasil N_1 sehingga dalam pemasangan pada tap nya disesuaikan dengan nilai tersebut seperti yang terdapat pada Tabel 3. yaitu Tabel rasio belitan *interposing/ACT* dipakai *rating* 2,886-8,66 / 5 A. Dengan demikian arus keluaran ACT_2 sebesar $I_{ACT2} = 4,9501A$. Dalam perhitungan ini penyambungan ACT_1 dan ACT_2 juga harus diubah agar tidak terjadi perbedaan arus yang besar karena perbedaan sudut fasa. Sambungan CT dan ACT dapat dilihat pada gambar di bawah.



Gambar 14. Pengkabelan rele diferensial setelah modifikasi

Vektor grup dari transformator daya adalah YNd11, yang berarti jika pada sisi sambungan bintang (sisi 150 kV) mempunyai sudut 0° maka pada sisi sambungan segitiga (sisi 11,5 kV) mempunyai sudut 30° . CT₂ pada sisi sambungan segitiga (11,5 kV) disambung Y0, pada ACT₂ juga disambung YY0. Sehingga tidak ada pergeseran fasa sampai pada keluaran ACT₂, yaitu sudut fasa tetap 30° . Pada CT₁ sisi sambungan bintang (150 kV) disambung Y6, sehingga sudut fasa arus sekunder CT₁ adalah 180° . Sedangkan ACT₁ disambung YD, sehingga pada sisi keluaran ACT₁ terjadi pergeseran fasa. Agar sudut fasa pada keluaran ACT₂ sama dengan sudut fasa pada keluaran ACT₁ yaitu 30° , maka sudut arus sekunder ACT₁ harus digeser menjadi 30° , yaitu disambung YNd11. Sehingga sudut arus sekunder ACT₁ adalah 210° . Sehingga besar arus ACT₁ adalah $5,0580 \angle 210^\circ$ dan besar arus ACT₂ adalah $4,9501 \angle 30^\circ$. Selisih arus Δi yang masuk pada rele diferensial adalah: $\Delta i = 0,1079 \angle -149,96^\circ$ A

Gambar 15. merupakan penjumlahan vektor arus ACT₁ dan arus ACT₂. Karena sudut arus ACT₁ dan ACT₂ saling berlawanan 180° dan nilainya hampir sama maka kedua arus tersebut akan saling mengurangi dan hasilnya mendekati nilai 0 ampere. Dari perhitungan ataupun dengan penjumlahan vektor kedua arus tersebut, terlihat bahwa Δi sangat kecil sekali mendekati 0 ampere. Sehingga saat kondisi transformator daya normal operasi maka rele diferensial tidak akan bekerja.



Gambar 15 Penjumlahan vektor

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan, bahwa penggantian transformator daya 140 MVA, 11,5/150 kV dari vektor group YNd1 menjadi YNd11, berbedanya rasio CT dan tidak adanya CT pada sisi HV dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Jika tidak terdapat CT pada sisi HV, maka rele diferensial tidak dapat bekerja dalam kondisi terjadi gangguan. Karena rele diferensial tidak dapat membedakan berapa besar arus yang mengalir pada sisi HV maupun LV. Hal ini sesuai dengan prinsip kerja rele diferensial yaitu keseimbangan arus (*current balance*). Jadi dalam pemasangan rele diferensial harus terdapat 2 buah CT pada sisi HV maupun LV.
2. Penggantian transformator dengan **vector** grup yang berbeda akan menyebabkan arus yang masuk pada kedua sisi rele diferensial berbeda sudut 120° dan perbedaan arus sebesar 4,3204 A. Sedangkan setting rele diferensial adalah 1,5 A. Hal ini akan menyebabkan rele diferensial bekerja pada kondisi normal operasi, karena perbedaan arus tersebut melebihi nilai *setting* rele diferensial. Agar tidak terjadi perbedaan besar arus dari kedua sisi rele diferensial maka sambungan ACT₁ diubah dari Yd1 menjadi Yd11. Sehingga perbedaan arus menjadi 0,1079 A dan rele diferensial tidak bekerja saat kondisi normal operasi, karena perbedaan arus lebih kecil dari nilai *setting* rele diferensial.

DAFTAR PUSTAKA

- M. G. Adamiak , G. E. Alexander, "A New Approach to Current Differential Protection for Transmission Lines", 1998
- PT PLN (Persero) P3B, "Panduan Pemeliharaan Trafo Tenaga", 2003.
- Michael Thompson, James R. Closson Basler Electric, "Using I_{OP} Characteristics To Troubleshoot Transformer Differential Relay Misoperation" Presented to International Electrical Testing Association Technical Conference, Kansas City, Missouri March 13 - 16, 2001, Revised
- Liem Ek Bien & Dita Helna, "Studi Penyetelan Relai Diferensial Pada Transformator PT CHEVRON PACIFIC INDONESIA" JETri, Volume 6, Nomor 2, Februari 2007, Halaman 41 - 68, ISSN 1412-0372, 2007.
- UDIKLAT SEMARANG, "Modul Pelatihan Proteksi Pembangkit 2", 2008.
- Alsthom, "Interposing Current Transformers For use in conjunction with Type MBCH Transformer Differential Protection", 2000
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Transformer>.
Tanggal 28 Desember 2011.