

Setting Differential Relay Transformer (87T) dengan Pertimbangan *Vector Group* pada PLTU Tenayan 2x110 MW

Teuku Rizki Firdausi, Margo Pujiantara, dan Vita Lystianingrum
Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: margo@ee.its.ac.id

Abstrak—PT. Pembangkitan Jawa Bali (PJB) Unit Bisnis Jasa Operasi dan Pemeliharaan (UBJOM) PLTU Tenayan memiliki peralatan proteksi yang berfungsi sebagai penunjang kegiatan pembangkitan listrik. Salah satu proteksi utama yang digunakan pada PLTU Tenayan adalah *differential relay transformer* (87T). *Differential relay* ini berfungsi melindungi *main* transformator dari gangguan dan bekerja dengan cepat dan selektif dalam memutus gangguan. Pada sistem kelistrikan PLTU Tenayan, *main* transformator maupun transformator UAT memiliki konfigurasi *vector group*, sehingga menyebabkan arus yang mengalir pada kedua sisi transformator akan berbeda, dan arus yang dirasakan oleh CT pada kedua sisi transformator akan berbeda pula, sehingga *relay* beroperasi tanpa adanya gangguan. Pada tanggal 9 Desember 2018, terjadi *trip* pada generator unit 1 PLTU Tenayan, sehingga menyebabkan *blackout*. Kejadian ini diduga akibat sambaran petir di sisi transmisi 150 kV. Pada Tugas Akhir ini akan dilakukan analisis *setting differential relay transformer* (87T) dengan pertimbangan *vector group* pada PLTU Tenayan 2x110 MW. Metode penelitian pada Tugas Akhir ini menggunakan *software ETAP 12.6.0*. Hasil analisis dari simulasi tersebut akan digunakan sebagai referensi untuk menentukan *setting differential relay transformer* yang tepat, sehingga sistem proteksi *differential relay* (87T) dapat bekerja dengan cepat dan selektif dalam mengatasi gangguan.

Kata Kunci—*Differential Relay*, *Vector Group*, Sistem Kelistrikan PLTU Tenayan.

I. PENDAHULUAN

SISTEM kelistrikan pada industri dapat dikatakan baik ketika memiliki kontinuitas listrik yang baik. Salah satu faktor untuk menjaga kontinuitas listrik yang baik adalah dengan mencegah terjadinya gangguan. Gangguan sistem kelistrikan dapat diakibatkan oleh kerusakan peralatan, gangguan dari luar sistem kelistrikan, atau kesalahan pengoperasian [1]. Gangguan tersebut dapat dicegah dengan pemasangan sistem proteksi yang tepat. Sistem proteksi kelistrikan harus bekerja dengan cepat untuk mengisolasi gangguan. Selain itu, sistem proteksi kelistrikan harus selektif dalam menghilangkan gangguan, memiliki sensitivitas yang baik, dan memiliki keandalan yang tinggi [2]. Ketika arus gangguan muncul maka sistem proteksi harus mampu untuk memutus arus gangguan dengan cepat sebelum terjadi kerusakan atau kebakaran pada peralatan serta membatasi gangguan tersebut agar tidak meluas ke sistem. Oleh karena itu, sistem proteksi harus di *setting* dengan baik supaya dapat melakukan fungsinya dengan tepat.

Sebagai perusahaan pembangkitan, PT. Pembangkitan Jawa Bali (PJB) Unit Bisnis Jasa Operasi dan Pemeliharaan

(UBJOM) PLTU Tenayan memiliki peralatan proteksi yang berfungsi sebagai penunjang kegiatan pembangkitan listrik. Namun, seiring berjalannya waktu, peralatan tersebut perlu dievaluasi ulang demi menjaga fungsi dan selektivitas sistem proteksi tenaga listrik. Tanpa adanya evaluasi secara komprehensif, dikhawatirkan peralatan proteksi justru menyebabkan *fault trip*.

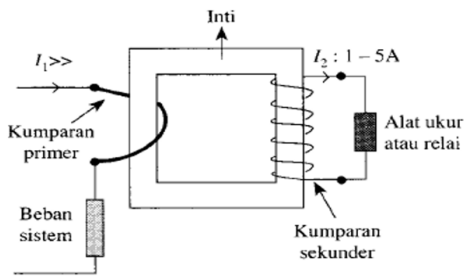
Salah satu proteksi utama yang digunakan di PT. PJB PLTU Tenayan 2x110 MW adalah *differential relay transformer* (87T). *Differential relay* ini berfungsi melindungi *main* transformator dari gangguan dan bekerja dengan cepat dan selektif dalam memutus gangguan. Pada sistem kelistrikan PLTU Tenayan, *main* transformator maupun *Unit Auxiliary Transformer* (UAT) memiliki konfigurasi *vector group*, sehingga menyebabkan arus yang mengalir pada kedua sisi transformator akan berbeda, sehingga arus yang dirasakan oleh CT (*Current Transformer*) pada kedua sisi transformator akan berbeda pula dan menyebabkan *relay* beroperasi tanpa adanya gangguan.

Pada tanggal 9 Desember 2018, terjadi *trip* pada generator unit 1 PT. PJB PLTU Tenayan 2x110 MW, sehingga menyebabkan *blackout*. Kejadian ini diduga akibat sambaran petir di sisi transmisi 150 kV. Kejadian ini memicu adanya *trigger* dari aktifnya fungsi *relay* diferensial.

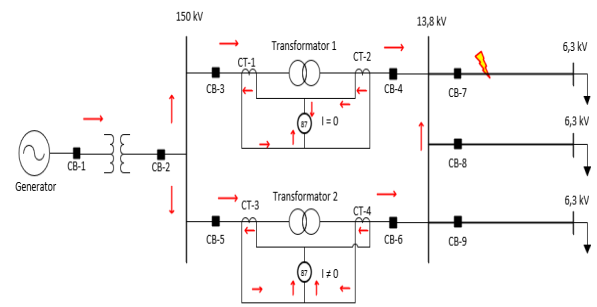
Oleh karena itu, pada Tugas Akhir ini akan dilakukan analisis *setting differential relay transformer* (87T) dengan pertimbangan *vector group* pada PLTU Tenayan 2x110 MW. Metode penelitian yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah dengan simulasi menggunakan *software ETAP 12.6.0*. Hasil analisis dari simulasi tersebut akan digunakan sebagai referensi untuk menentukan *setting differential relay transformer* yang tepat agar sistem proteksi *relay* diferensial (87T) dapat bekerja dengan cepat dan selektif dalam memutus arus gangguan. Sehingga sistem proteksi *relay* diferensial (87T) dapat bekerja dengan cepat dan selektif dalam mengatasi gangguan.

II. PROTEKSI TRANSFORMER PADA SISTEM KELISTRIKAN

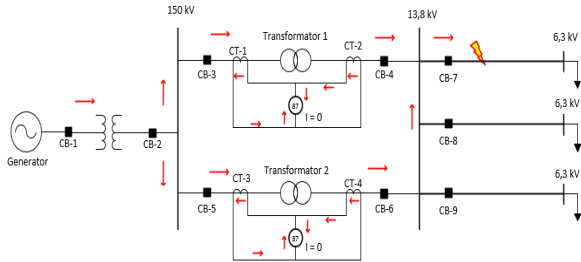
Berdasarkan IEEE Std 242-2001 [1], fungsi dari proteksi sistem kelistrikan adalah melindungi peralatan apabila ada gangguan dengan cara membatasi jangkauan dan lamanya durasi gangguan yang diakibatkan oleh *human error* (kesalahan manusia), kegagalan peralatan, maupun peristiwa alam yang dapat mengganggu sistem kelistrikan. Kedua, proteksi sistem kelistrikan juga untuk meminimalkan kerusakan peralatan listrik yang terkena gangguan sehingga



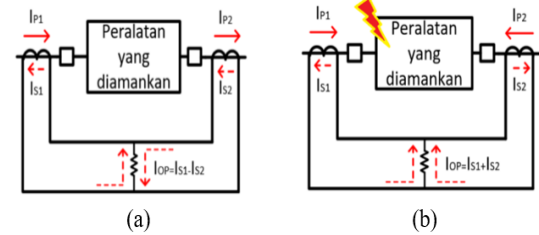
Gambar 1. Konstruksi transformator arus (CT) [3].



Gambar 3. Pemodelan wiring CT yang salah dengan kondisi gangguan eksternal



Gambar 2. Pemodelan wiring CT yang benar dengan kondisi gangguan eksternal



Gambar 4. (a) Relay diferensial saat kondisi normal dan gangguan eksternal, (b) relay diferensial saat terjadi gangguan internal [7]

gangguan tersebut tidak meluas ke sistem. Sehingga kerugian yang diakibatkan oleh gangguan tersebut dapat diminimalisir.

A. Transformator Arus (Current Transformer)

Transformator arus atau *Current Transformer* (CT) adalah peralatan listrik yang berfungsi untuk mentransformasi arus listrik agar dapat digunakan untuk keperluan pengukuran dan rele proteksi. CT digunakan untuk pengukuran arus yang besarnya ratusan ampere yang mengalir melalui jaringan sehingga harus di transformasi supaya sesuai dengan rating peralatan. Pemodelan konstruksi transformator arus dapat dilihat pada Gambar 1. Dalam hal ini dapat dilihat bahwa kumparan primer CT dihubungkan seri dengan sistem sedangkan kumparan sekunder dihubungkan dengan rele proteksi. Transformator arus dibutuhkan untuk mengubah arus kuat menjadi arus lemah sebesar 1-5 A yang sebanding dan satu fasa dengan arus primer.

Dalam sistem proteksi rele diferensial, pemasangan wiring CT sangat penting untuk diperhatikan. Apabila wiring CT salah maka akan menyebabkan rele diferensial bekerja tanpa adanya gangguan sehingga menyebabkan kesalahan *trip*. Untuk pemodelan wiring dapat dilihat pada Gambar 2. Berdasarkan gambar tersebut dapat dilihat bahwa ketika gangguan eksternal rele diferensial tidak akan bekerja ($I = 0$), sehingga peralatan listrik akan beroperasi sebagaimana mestinya.

Namun, apabila wiring CT salah, maka akan menimbulkan pembacaan yang salah pada rele diferensial, sehingga menyebabkan rele beroperasi dan CB (*Circuit Breaker*) akan *trip*. Berdasarkan Gambar 3, wiring CT-4 salah, ketika terjadi gangguan internal pada transformator 1, rele diferensial pada transformator 2 juga ikut beroperasi sehingga menyebabkan CB-5 dan CB-6 *trip*. Sehingga rele diferensial pada transformator 2 akan beroperasi tanpa adanya gangguan. Hal ini tentu disebabkan oleh wiring CT yang salah sehingga rele diferensial mengalami kesalahan kerja. Oleh karena itu, dalam sistem proteksi rele diferensial wiring CT sangat

mempengaruhi pembacaan rele, sehingga harus dipasang dengan benar.

B. Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat didefinisikan sebagai suatu hubungan abnormal terjadi secara kebetulan atau disengaja pada sistem tenaga listrik melalui impedansi yang relatif rendah antara dua titik yang mempunyai potensial yang berbeda pada keadaan normal [4]. Gangguan hubung singkat dalam sistem tenaga listrik dapat dikelompokkan menjadi 2 jenis, yaitu gangguan hubung singkat simetri dan gangguan hubung singkat tidak simetri (*asimetri*). Contoh dari gangguan hubung singkat simetri adalah hubung singkat 3 fasa, sedangkan hubung singkat tidak simetri (*asimetri*) yaitu hubung singkat satu fasa ke tanah, hubung singkat dua fasa, hubung singkat dua fasa ke tanah, dan hubung singkat tiga fasa ke tanah [5]. Gangguan hubung singkat menyebabkan kenaikan nilai arus yang dapat membahayakan peralatan listrik.

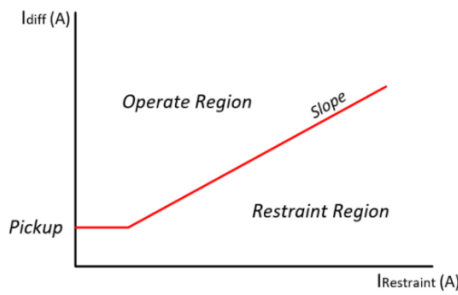
C. Perhitungan Arus Hubung Singkat

Sebelum melakukan perhitungan pada *setting* proteksi rele diferensial, perlu dilakukan perhitungan arus hubung singkat. Perhitungan arus hubung singkat dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut [6]:

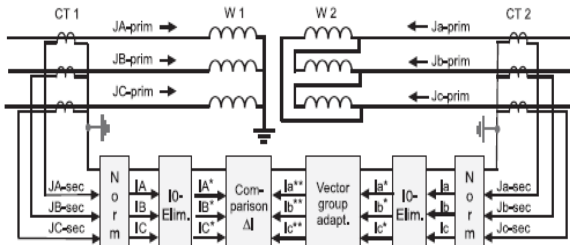
1. Hubung singkat 3 fasa terjadi ketika ketiga fasanya terhubung, sehingga akan mengalir arus yang sangat besar. Hubung singkat 3 fasa juga disebut dengan arus hubung singkat maksimum. Dalam hal ini V_{LN} adalah tegangan fasa ke netral dan Z_1 adalah impedansi urutan positif.

$$I_{SC\ 3\phi} = \frac{V_{LN}}{Z_1} \quad (1)$$

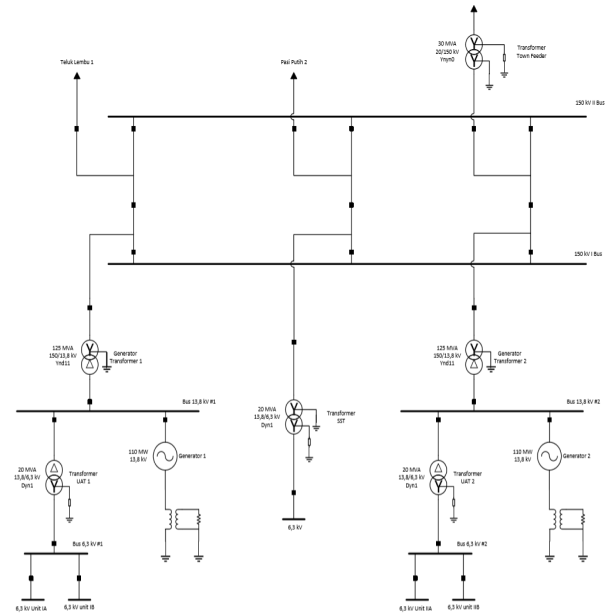
2. Hubung singkat 2 fasa terjadi ketika dua fasa yang saling terhubung. Arus hubung singkat 2 fasa biasanya disebut dengan arus hubung singkat minimum karena dipengaruhi oleh banyaknya jumlah impedansi. Dalam hal ini V_{LL}



Gambar 5. Kurva karakteristik relay diferensial [7]



Gambar 6. Skema perbandingan arus dengan konversi vector group pada transformator [8]



Gambar 7. Single line diagram PLTU Tenayan 2x110 MW

Tabel 1.

Data spesifikasi differential relay transformator (87T) [10]

| Setting | Scope (Ie) | Setting Accuracy | Time (ms) |
|---------------------------------------------------------------|------------|-----------------------|-----------|
| Pickup Setting of Percentage Differential Current | 0,1 – 1,5 | ± 2,5 % or ± 0,002 In | - |
| Setting of Unrestrained Instantaneous Differential Protection | 2 – 14 | ± 2,5 % | - |
| Setting of the First Slope | 0,00 – 0,5 | - | - |
| Setting of the Second Slope | 0,5 – 0,8 | - | - |
| Operation Time of Percentage Differential Protection | - | - | 25 |
| Operation Time of Unrestrained Instantaneous | - | - | 20 |

adalah tegangan fasa ke fasa, Z_1 adalah impedansi urutan positif, dan Z_2 adalah impedansi urutan negatif.

$$I_{sc\ 2\phi} = \frac{V_{LL}}{Z_1 + Z_2} \tag{2}$$

3. Hubung singkat 1 fasa ke tanah terjadi apabila salah satu fasa terhubung ke tanah. Hubung singkat satu fasa ke tanah ini sangat dipengaruhi oleh jenis *grounding* yang digunakan. Dalam hal ini V_{LN} adalah tegangan fasa ke netral, Z_1 adalah impedansi urutan positif, Z_2 adalah impedansi urutan negatif, Z_0 adalah impedansi urutan nol, dan Z_R adalah impedansi pada pentanahan.

$$I_{sc\ 1\phi} = \frac{3V_{LN}}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_R} \tag{3}$$

D. Relay Diferensial

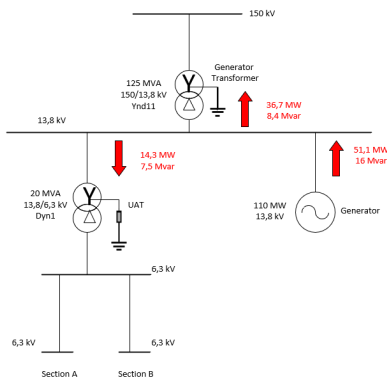
Relay diferensial merupakan relay yang memanfaatkan perbandingan arus yang masuk ke relay. Relay diferensial dapat digunakan sebagai pelindung peralatan seperti generator, bus, transformator dan saluran. Relay diferensial akan memerintahkan CB untuk *trip* ketika terjadi gangguan di dalam daerah proteksi relay (gangguan internal). Daerah proteksi relay diferensial dibatasi oleh CT yang digunakan sebagai input relay. Pada kondisi normal atau pada saat terjadi gangguan di luar daerah proteksi relay (gangguan eksternal), relay diferensial tidak akan bekerja dikarenakan penjumlahan arus yang masuk ke relay akan sama dengan nol. Pemodelan relay diferensial saat kondisi normal dan gangguan internal ditunjukkan pada Gambar 4.

Pada saat terjadi gangguan internal, penjumlahan arus yang masuk ke relay akan tidak sama dengan nol. Dalam penentuan seting relay diferensial, terdapat beberapa parameter yang perlu dihitung antara lain: 1.) Arus sekunder CT₁ yang terbaca oleh relay diferensial yang dinamakan dengan I_p , 2.) Arus sekunder CT₂ yang terbaca oleh relay diferensial yang dinamakan dengan I_s , 3.) Selisih arus yang terbaca oleh relay diferensial yang dinamakan dengan I_{diff} , 4.) Arus maksimum yang terbaca oleh relay diferensial yang dinamakan dengan $I_{restraint}$, dan 5.) Perbandingan arus I_{diff} dan $I_{restraint}$ yang dinamakan dengan *Slope*.

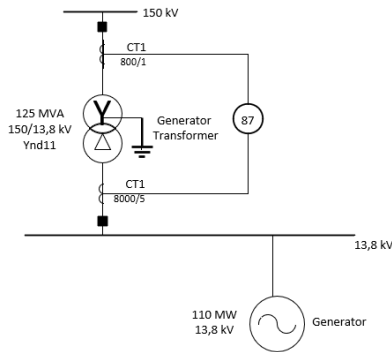
Berdasarkan Gambar 5, garis kurva menunjukkan setting relay diferensial. Daerah diatas kurva merupakan daerah operasi relay diferensial. Pada kondisi ideal, nilai arus saat terjadi gangguan eksternal maupun kondisi normal akan sama dengan nol, tetapi pada kondisi nyata terdapat beberapa error yang dapat menyebabkan arus tidak akan tepat bernilai nol [7]. Oleh karena itu, nilai setting arus pada relay diferensial harus disesuaikan dengan mempertimbangkan setiap kondisi baik kondisi normal, gangguan eksternal maupun gangguan internal peralatan sehingga relay dapat bekerja dengan tepat.

E. Vector Group dan Arus Hubung Singkat

Pada transformator terdapat hubungan koneksi *wye-delta* dan juga koneksi *vector group*. Variasi *vector group* sangat penting, karena variasi tersebut menyebabkan *lagging* atau *leading* dan perbedaan tegangan pada belitan yang sama. Oleh karena itu, dalam proteksi rele diferensial yang dibandingkan adalah arus, sehingga harus di konversi terlebih



Gambar 8. Ilustrasi aliran daya di PLTU Tenayan 2x110 MW pada saat kondisi normal



Gambar 9. Skema wiring dan pemodelan area perlindungan differential relay transformer (87T) pada transformator 125 MVA

dahulu supaya tidak menimbulkan kesalahan pembacaan pada rele. Untuk membandingkan arus pada sisi primer dan sisi sekunder ada beberapa pertimbangan yang harus diperhatikan. Untuk gambarannya dapat di lihat pada Gambar 6.

$$\begin{bmatrix} I_{a''} \\ I_{b''} \\ I_{c''} \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \times \begin{bmatrix} \cos[k \cdot 30^\circ] & \cos[(k+4) \cdot 30^\circ] & \cos[(k-4) \cdot 30^\circ] \\ \cos[(k-4) \cdot 30^\circ] & \cos[k \cdot 30^\circ] & \cos[(k+4) \cdot 30^\circ] \\ \cos[(k+4) \cdot 30^\circ] & \cos[(k-4) \cdot 30^\circ] & \cos[k \cdot 30^\circ] \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_{a'} \\ I_{b'} \\ I_{c'} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Persamaan umum untuk konversi *vector group* diberikan dalam persamaan (4), di mana *k* adalah angka dari *vector group*.

Setelah konversi *vector group* dilakukan, maka arus dapat dibandingkan antara sisi primer dan sekunder transformator yang digunakan untuk *setting* proteksi rele diferensial.

III. SISTEM KELISTRIKAN PLTU TENAYAN 2X110 MW

A. Sistem Kelistrikan PLTU Tenayan 2x110 MW

Sistem kelistrikan pada PLTU Tenayan 2x110 MW terdiri dari 2 unit generator dengan kapasitas 110 MW, *main* transformator dengan kapasitas 125 MVA, *Unit Auxiliary Transformer* (UAT) dengan kapasitas 20 MVA, *Station Service Transformer* (SST) dengan kapasitas 20 MVA, dan beban listrik lainnya yang terhubung dengan baik. Pada sistem kelistrikan PLTU Tenayan terdapat 4 level tegangan yang berbeda yaitu 0,4 kV, 6,3 kV, 13,8 kV, dan 150 kV. Sistem kelistrikan PLTU Tenayan 2x110 MW menggunakan konfigurasi radial. Sistem kelistrikan PLTU Tenayan 2x110 MW dapat dilihat pada Gambar 7.

Sistem distribusi di PLTU Tenayan 2x110 MW menggunakan 3 level tegangan yang berbeda yaitu 0,4 kV,

Tabel 2. Data Arus Hubung Singkat 1/2 cycle

| ID | Bus | kV | Fasa | Arus Hubung Singkat (kA) | | |
|----------------|------|----|------|--------------------------|-------|-------|
| | | | | L-L-L | L-L | L-G |
| 150 kV I Bus | 150 | S | R | 28,18 | 0 | 29,72 |
| | | | T | 28,18 | 24,44 | 0 |
| | | | R | 62,82 | 0 | 0,02 |
| Bus 13,8 kV #1 | 13,8 | S | R | 62,82 | 56,74 | 0 |
| | | | T | 62,82 | 56,74 | 0 |
| | | | R | 27,55 | 0 | 0,4 |
| Bus 6,3 kV #1 | 6,3 | S | R | 27,55 | 23,87 | 0 |
| | | | T | 27,55 | 23,87 | 0 |
| | | | R | 27,55 | 23,87 | 0 |

Tabel 3. Data Setting Differential Relay Transformer (87T) Pada Transformator 125 MVA Per Januari 2019

| No | Setting Name | Value |
|----|--------------------|---------------------------|
| 1 | I_Pkp_PcntDiff_Tr | 0,40 <i>I_e</i> |
| 2 | I_InstDiff_Tr | 5,00 <i>I_e</i> |
| 3 | Slope1_PcntDiff_Tr | 0,10 <i>I_e</i> |
| 4 | Slope2_PcntDiff_Tr | 0,70 <i>I_e</i> |
| 5 | K_harm_PcntDiff_Tr | 0,15 <i>I_e</i> |
| 6 | TrpLog_Diff_Tr | 1A7F |

6,3 kV, 13,8 kV, dan 150 kV. Tegangan 0,4 kV dan 6,3 kV digunakan untuk kebutuhan beban internal dan beban berkapasitas kecil. Tegangan 13,8 kV digunakan sebagai keluaran generator. Tegangan 150 kV digunakan untuk suplai ke grid PLN. Beban-beban yang ada di PLTU Tenayan 2x110 MW terdiri dari beban motor induksi dan *lumped load*. Beban-beban motor biasanya berfungsi sebagai penggerak pompa untuk pengisi air ketel, penggerak pompa air pendingin kondensor, penggerak penggiling batu-bara, dan lainnya.

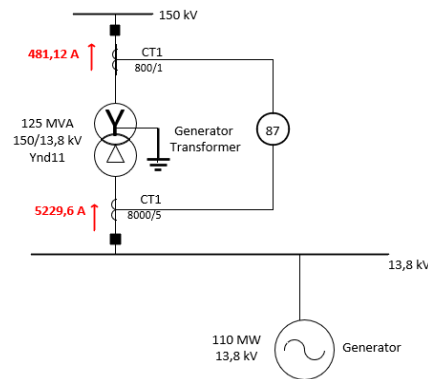
B. Sistem Proteksi Diferensial di PLTU Tenayan 2x110 MW

PLTU Tenayan 2x110 MW membutuhkan sistem proteksi untuk melindungi sistem kelistrikan dari gangguan sehingga proses pembangkitan energi listrik tetap berjalan dengan optimal. Salah satu pengaman yang digunakan di PLTU Tenayan 2x110 MW adalah *differential relay transformer* (87T). Data spesifikasi rele diferensial dapat dilihat pada Tabel 1.

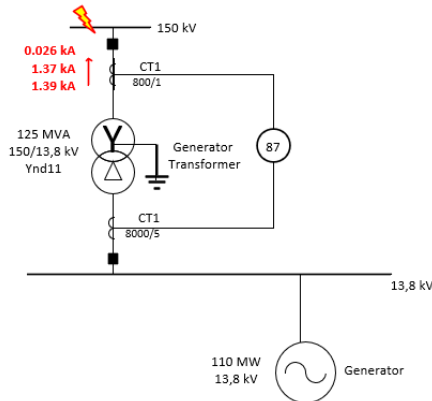
IV. HASIL DAN ANALISIS DATA

A. Pemodelan Sistem Kelistrikan PLTU Tenayan 2x110 MW

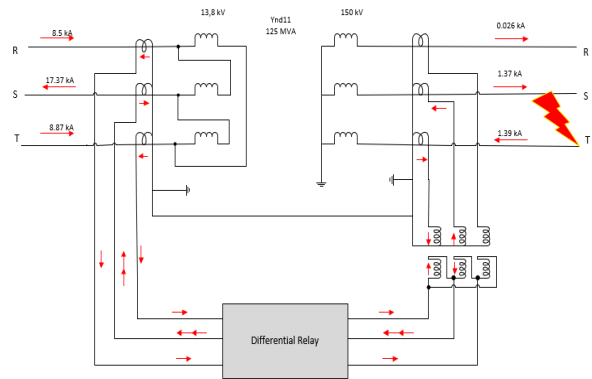
Dalam memodelkan sistem kelistrikan PLTU Tenayan 2x110 MW dilakukan dengan cara menggambarkan *single line diagram* menggunakan *software ETAP 12.6.0*. Pemodelan simulasi sistem kelistrikan ini memerlukan data di tiap peralatan sehingga perlu pengumpulan data tiap peralatan. Setelah dilakukan pemodelan pada *software ETAP 12.6.0* selanjutnya dilakukan simulasi aliran daya untuk memastikan sistem dalam keadaan stabil dan berjalan dengan baik. Dengan analisis aliran daya ini bisa diketahui tegangan pada



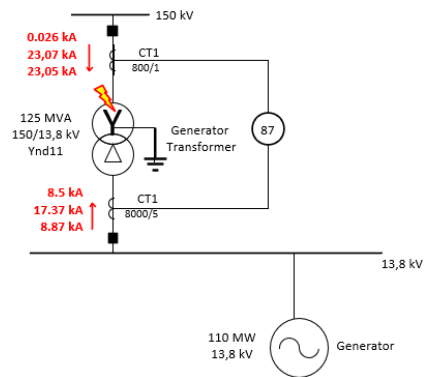
Gambar 10. Skema *differential relay transformer* (87T) pada transformator 125 MVA saat kondisi normal



Gambar 11. Skema *differential relay transformer* (87T) saat terjadi gangguan hubung singkat eksternal L-L di sisi primer (150 kV) transformator 125 MVA



Gambar 12. Rangkaian transformator 125 MVA dengan *vector group* Ynd11 saat terjadi gangguan hubung singkat eksternal L-L di sisi primer (150 kV)



Gambar 13. Skema *differential relay transformer* (87T) saat terjadi gangguan hubung singkat internal L-L di sisi primer (150 kV) pada transformator 125 MVA

tiap bus, pembebanan pada tiap transformator, dan juga rugi-rugi daya listrik. Selanjutnya dilakukan simulasi hubung singkat untuk mengetahui besar arus hubung singkat ketika terjadi gangguan sebagai pertimbangan untuk melakukan *setting relay* diferensial.

B. Aliran Daya (Power Flow)

Pada sistem kelistrikan PLTU Tenayan 2x110 MW generator membangkitkan daya sebesar 51,1 MW (46,45 % dari rating-nya). Generator juga memberikan daya reaktif sebesar 16 Mvar. Daya yang dibangkitkan oleh generator akan digunakan untuk kebutuhan beban internal di pembangkit dan juga dialirkan menuju grid PLN. Untuk kebutuhan beban internal daya yang dialirkan sebesar 14,3 MW dan 7,5 Mvar, daya ini dialirkan melalui transformator UAT 20 MVA dengan level tegangan 13,8 kV/6,3 kV (Step Down). Sedangkan daya yang dialirkan menuju grid PLN sebesar 36,7 MW dan 8,4 Mvar, daya ini dialirkan melalui transformator GT 125 MVA dengan level tegangan 13,8 kV/150 kV (Step Up). Listrik yang dialirkan menuju grid PLN memiliki nilai PF (Power Factor) sebesar 0,97. Nilai tersebut masih diatas batas minimum yang diizinkan oleh PLN, yaitu 0,85. Ilustrasi aliran daya dapat dilihat pada Gambar 8.

PLTU Tenayan memiliki dua pembangkit dengan kapasitas yang sama, yaitu 110 MW, sehingga total daya yang dibangkitkan sebesar 102,2 MW dan 32 Mvar. Grid PLN menerima daya sebesar 73,4 MW dan 16,8 Mvar dengan PF sebesar 0,97. Sedangkan untuk kebutuhan beban internal secara keseluruhan membutuhkan daya sebesar 28,6 MW dan 15 Mvar.

C. Arus Gangguan Hubung Singkat

Analisis arus gangguan hubung singkat pada *software ETAP 12.6.0* berfungsi untuk mendapatkan nilai arus saat terjadi gangguan sebagai pertimbangan Ketika melakukan *setting rele* proteksi. Arus hubung singkat yang diperlukan untuk *setting rele* diferensial adalah arus hubung singkat pada kondisi $\frac{1}{2}$ cycle saat terjadi gangguan internal dan eksternal peralatan yang dilindungi. Rele proteksi diferensial bekerja sangat cepat dan selektif dengan waktu yang dibutuhkan sekitar 1 cycle (0.01-0.02 s), karena waktu yang sangat singkat tersebut maka arus gangguan yang digunakan dalam *setting proteksi* diferensial adalah arus gangguan pada proteksi subtransient ($\frac{1}{2}$ cycle). Data arus hubung singkat $\frac{1}{2}$ cycle dapat dilihat pada Tabel 2.

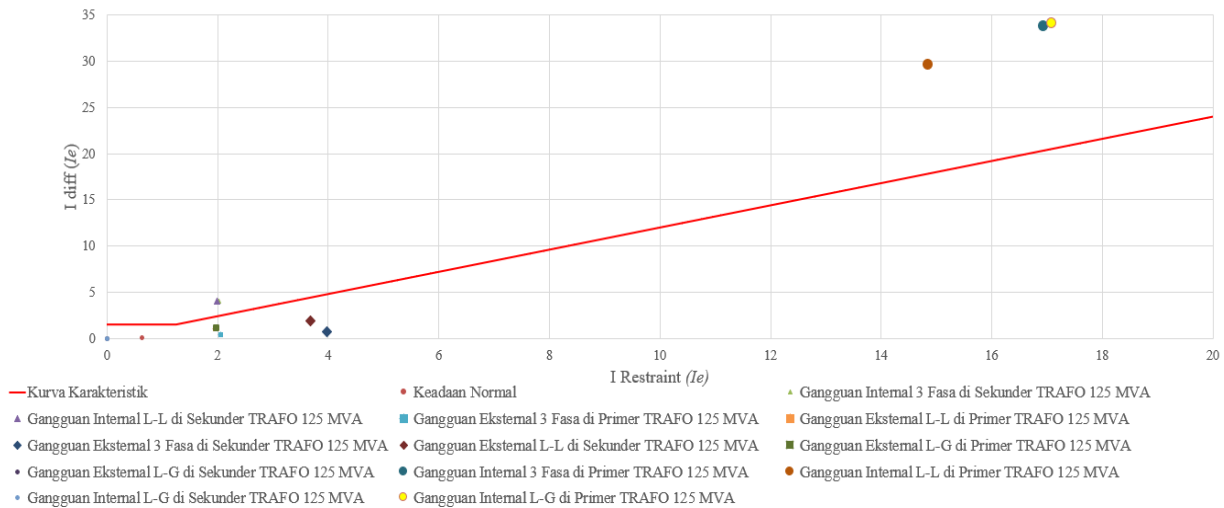
D. Analisis Kondisi Eksisting

Setelah dilakukan pengumpulan data di PT. PJB PLTU Tenayan, terdapat nilai *setting eksisting* rele diferensial *transformer* dimana nilai I_{diff} adalah $0,4 I_e$, *setting unrestrained instantaneous* adalah $5 I_e$, *setting slope 1* adalah $0,1 I_e$, dan *setting slope 2* adalah $0,7 I_e$. Nilai *setting* ini akan dijadikan acuan untuk melakukan evaluasi apabila rele sudah di *resetting*. Data *setting eksisting relay* dapat dilihat pada Tabel 3.

E. Analisis Kondisi Resetting

Differential relay transformer ini berfungsi untuk mendeteksi dan melindungi dari gangguan internal di dalam daerah *transformer* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9. Area yang dilindungi adalah *transformer* 125 MVA.

Kurva Karakteristik Differential Relay Transformer (87T) Transformator 125 MVA



Gambar 14. Kurva karakteristik differential relay transformer (87T) transformator 125 MVA dengan $I_{diffpickup} = 1,5 I_e$

Tabel 4.

Hasil simulasi dan perhitungan untuk pengujian setting differential relay transformer (87T) ketika terjadi gangguan kelistrikan

| Kasus | $I_{diff} (I_e)$ | $I_{diff} (\%)$ | $I_{restraint} (I_e)$ | Slope (%) | Keterangan |
|--------------------------------------------|------------------|-----------------|-----------------------|-----------|------------------|
| Normal | 0,115 | 2,3 | 0,6288 | 18,2 | Tidak beroperasi |
| Gangguan eksternal L-L di sisi primer | 1,0847 | 21,69 | 1,9534 | 55,5 | Tidak beroperasi |
| Gangguan eksternal 3 fasa di sisi primer | 0,376 | 7,52 | 2,0642 | 18,2 | Tidak beroperasi |
| Gangguan eksternal L-G di sisi primer | 1,1566 | 23,13 | 1,9748 | 58,5 | Tidak beroperasi |
| Gangguan eksternal L-L di sisi sekunder | 1,9366 | 38,73 | 3,6713 | 52,7 | Tidak beroperasi |
| Gangguan eksternal 3 fasa di sisi sekunder | 0,7317 | 14,63 | 3,9758 | 18,4 | Tidak beroperasi |
| Gangguan eksternal L-G di sisi sekunder | 0 | 0 | 0 | 0 | Tidak beroperasi |
| Gangguan internal L-L di sisi primer | 29,6754 | 593,50 | 14,837 | 200 | Beroperasi |
| Gangguan internal 3 fasa di sisi primer | 33,8397 | 676,79 | 16,919 | 200 | Beroperasi |
| Gangguan internal L-G di sisi primer | 34,1477 | 682,95 | 17,073 | 200 | Beroperasi |
| Gangguan internal L-L di sisi sekunder | 3,9775 | 79,55 | 1,9887 | 200 | Beroperasi |
| Gangguan internal 3 fasa di sisi sekunder | 4,0378 | 80,75 | 2,0189 | 200 | Beroperasi |
| Gangguan internal L-G di sisi sekunder | 0 | 0 | 0 | 0 | Beroperasi |

Setting pada rele diferensial transformer (87T) dapat dilakukan dengan cara perhitungan manual. Parameter yang dihitung antara lain arus yang terbaca pada sekunder CT, selisih arus pada sekunder CT, arus restraint pada sekunder CT, dan juga slope. Parameter setting harus memperhatikan arus diferensial yang melalui rele 87T dan slope saat kondisi normal dan gangguan hubung singkat di luar daerah pengaman.

Berdasarkan manual book [9], nilai arus diferensial (I_{diff}) adalah:

$$I_d = |I_p + I_s| \tag{5}$$

Sedangkan untuk menghitung arus restraint, berdasarkan manual book [9], persamaan yang digunakan adalah:

$$I_{restraint} = \frac{|I_p| + |I_s|}{2} \tag{6}$$

I_p adalah arus maksimum di sekunder CT₁ di sisi 150 kV, dan I_s adalah arus maksimum di sekunder CT₂ di sisi 13,8 kV.

Pada kondisi normal arah aliran arus berasal dari generator menuju transformator dan dari transformator menuju grid PLN. Berdasarkan Gambar 10, nilai arus maksimum di sisi primer (150 kV) adalah 481,12 A dan nilai arus maksimum di sisi sekunder (13,8 kV) adalah 5229,6 A. berdasarkan perhitungan, nilai $I_{restraint}$ yang didapatkan adalah 0,6288 I_e ,

nilai I_{diff} yang didapatkan adalah 0,115 I_e (2,3 %), dan nilai slope yang didapatkan adalah 18,29 %.

Ketika terjadi gangguan eksternal antar fasa (L-L) di sisi primer (150 kV) transformator 125 MVA, aliran arus akan menuju ke titik gangguan. Berdasarkan hasil dari simulasi pada Gambar 11, terlihat bahwa fasa yang mengalami gangguan adalah fasa S dan T di sisi primer (150 kV). Dalam hal ini, untuk menghitung arus di sisi sekunder, perlu adanya pertimbangan vector group pada transformator, karena mempengaruhi nilai arus hubung singkat di sekunder. Oleh karena itu perlu adanya perhitungan konversi vector group pada arus tersebut. Dalam menghitung konversi vector group, sisi dengan koneksi wye selalu menjadi acuan. Untuk rangkaian transformator dengan vector group dapat dilihat pada Gambar 12. Berdasarkan perhitungan, di dapatkan nilai resultan arus trip dari proteksi diferensial yaitu $I_{\Delta-R} = -0,0360$, $I_{\Delta-S} = 0,0041$, dan $I_{\Delta-T} = 0,0318$ yang mana semua nilai tersebut mendekati nol. Karena selisih arus adalah 0, maka proteksi diferensial tidak bekerja.

Dalam setting relay diferensial, perhitungan untuk arus dilakukan tiap fasa, karena arus yang mengalir di setiap fasa ketika gangguan akan berbeda, kecuali ketika gangguan 3 fasa. Berdasarkan perhitungan, nilai $I_{restraint}$ yang di dapatkan adalah 1,9534 I_e , nilai I_{diff} yang di dapatkan adalah 1,0847 I_e (21,69 %), dan nilai slope yang di dapatkan adalah 55,53 %.

Berdasarkan perhitungan I_{diff} dan *slope* ketika kondisi normal dan gangguan di luar daerah pengamanan baik hubung singkat satu fasa (L-G), antar fasa (L-L) dan 3 fasa (L-L-L) di dapatkan nilai I_{diff} terbesar adalah 38,73 % atau 1,93 I_e dan nilai *slope* terbesar adalah 58,56 %. Rele diferensial tidak boleh bekerja saat kondisi normal maupun ketika terjadi gangguan di luar zona pengamanan rele (eksternal). Oleh karena itu, rekomendasi setting berdasarkan perhitungan adalah sebagai berikut: 1.) *Setting pickup*, dalam hal ini terdapat dua alternatif, yaitu a.) Memperhatikan error CT, I_{diff} kondisi normal, dan *safety factor*. Di dapatkan hasil perhitungan $I_{diff\ pickup}$ sebesar 0,173 I_e (0,865 A). b.) Berdasarkan I_{diff} terbesar saat kondisi normal dan gangguan eksternal, di dapatkan 0,3873 I_e . Sehingga *setting pickup* dipilih 150 % I_e (7,5 A). kedua pilihan *setting* tersebut masih dalam batas range dari manufaktur yaitu 0,1 I_e – 1,5 I_e . Untuk *setting slope* dipilih berdasarkan *slope* terbesar pada saat kondisi normal dan gangguan eksternal, karena itu dipilih *slope* sebesar 120 %.

Untuk menguji hasil *setting differential relay transformer* (87T) sudah tepat, maka dilakukan pengujian dengan simulasi ketika terjadi gangguan internal pada transformator, yaitu gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah (L-G), antar fasa (L-L), dan tiga fasa (L-L-L). Ketika terjadi gangguan internal antar fasa (L-L) di sisi primer (150 kV) pada transformator 125 MVA, aliran arus akan menuju ke titik gangguan. Berdasarkan hasil dari simulasi pada Gambar 13, terlihat bahwa fasa yang mengalami gangguan adalah fasa S dan T di sisi primer (150 kV).

Saat terjadi gangguan hubung singkat internal antar fasa (L-L) di sisi primer (150 kv) pada transformator 125 MVA, *slope* yang terukur adalah 200 % dan I_{diff} sebesar 593,5 %. Kedua nilai tersebut jauh lebih besar daripada *setting slope* dan I_{diff} yang telah dipilih, yaitu *setting slope* 120 % dan *setting I_{diff}* 1,5 I_e (150 %). Karena kedua syarat terpenuhi, yaitu kedua nilai *setting* telah terlampaui nilai *pickup*, maka rele diferensial akan bekerja dengan memberikan perintah *tripping* pada CB. Sedangkan ketika terjadi gangguan hubung singkat eksternal antar fasa (L-L) di sisi primer (150 kV) transformator 125 MVA, *slope* yang terukur adalah 55,53 % dan I_{diff} sebesar 21,69 %. Kedua nilai tersebut lebih kecil daripada *setting slope* dan I_{diff} yang telah dipilih. Karena nilai tersebut lebih kecil dari nilai *setting* yang dipilih, maka rele diferensial tidak akan bekerja ketika gangguan terjadi di luar zona proteksi. Untuk rangkuman hasil pengujian dari simulasi dapat dilihat pada Tabel 4.

Daerah di atas kurva merupakan daerah kerja *differential relay transformer* (87T). Rele diferensial akan bekerja apabila gangguan yang terjadi berada di atas kurva karakteristik rele. Berdasarkan Gambar 14, dapat disimpulkan bahwa ketika terjadi gangguan internal pada

transformator 125 MVA baik gangguan 1 fasa, 2 fasa maupun 3 fasa, nilai *slope* dan I_{diff} berada di atas kurva *setting slope* rele, dengan kata lain rele akan bekerja. Sedangkan ketika terjadi gangguan di luar zona pengamanan rele diferensial, maka rele tidak akan beroperasi, sehingga aman dari kesalahan *trip* dan operasi rele. Oleh karena itu, pemilihan *setting* tersebut sudah sesuai dan bisa di aplikasikan ke *differential relay transformer* (87T).

V. KESIMPULAN

Permasalahan yang terjadi di PLTU Tenayan 2x110 MW adalah *differential relay transformer* beroperasi ketika gangguan eksternal terjadi di sisi 150 kv, sehingga menyebabkan *blackout*. Nilai *setting eksisting* pada rele diferensial *transformer* yaitu I_{diff} sebesar 0,4 I_e , *setting slope* 1 adalah 0,1 I_e , dan *setting slope* 2 adalah 0,7 I_e . Penentuan *setting* baru (*resetting*) *differential relay transformer* (87T) ini telah mempertimbangkan *vector group*, kondisi normal, kondisi gangguan eksternal dan kondisi gangguan internal daerah proteksi rele diferensial. Rekomendasi *setting* rele diferensial yang disarankan adalah $I_{diff\ pickup}$ sebesar 1,5 I_e dan *slope* sebesar 120 %, di mana nilai I_{diff} *pickup* dipilih berdasarkan nilai I_{diff} saat kondisi normal atau nilai I_{diff} yang terbesar. Setelah dilakukan pengujian dengan gangguan antar fasa, tiga fasa, dan satu fasa ke tanah di dalam daerah pengamanan rele, nilai *slope* dan I_{diff} yang terukur berada di atas nilai *pickup* dan *setting slope* sehingga rele bekerja saat gangguan internal dan tidak akan bekerja saat gangguan di luar zona pengamanan rele.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] IEEE, *IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems (IEEE Buff Book) - IEEE Standard*. Piscataway, New Jersey: IEEE, 2001.
- [2] T. Gönen, *Modern Power System Analysis*, 2nd ed. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group, 2013.
- [3] R. N. Fadliyah, "Evaluasi Kegagalan Setting Rele Diferensial pada Bus 18 kV di Sistem Kelistrikan PLTU UP Paiton Unit 1," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia, 2017.
- [4] International Electrotechnical Commission (IEC), *IEC-60909-0: Short-circuit Currents in Three-phase AC Systems*. Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission (IEC), 2001.
- [5] J. D. Glover, M. S. Sarma, and T. J. Overbye, *Power System Analysis and Design*, 5th ed. Stamford, USA: Cengage Learning, 2012.
- [6] B. de Metz-Noblat, F. Dumas, and G. Thomasset, "Cahier Technique no. 158 Calculation of Short-Circuit Currents." Schneider Electric, 2000.
- [7] J. L. Blackburn and T. J. Domin, *Protective Relaying: Principles and Applications*, 3rd ed. Boca Raton, FL: Taylor & Francis, 2006.
- [8] G. Ziegler, *Numerical Differential Protection: Principles and Applications*, 2nd ed. Erlangen, Germany: Publicis Pub., 2012.
- [9] NR Electric, "RCS-985A Generator Protection Instruction Manual." Nanjing, China, 2011.