

ANALISIS EVALUASI *SETTING RELAY OCR* SEBAGAI PROTEKSI PADA JARINGAN DISTRIBUSI DENGAN PEMBANGKITAN TERDISTRIBUSI (STUDI KASUS PADA PENYULANG BSB 4, KENDAL - JAWA TENGAH)

Adhi Warsito^{*)}, Mochammad Facta, and Karnoto

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)Email : kiss.my.guitars@gmail.com}

Abstrak

Pembangkit terdistribusi (PT) merupakan sebuah terobosan teknologi generasi baru dan merupakan solusi energi terbarukan. Pemasangan PT memberikan banyak keuntungan pada sistem tenaga listrik, antara lain PT dapat meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem tenaga listrik. Makalah ini mempelajari tentang efek pemasangan PT terhadap perubahan besarnya nilai arus gangguan yang mungkin terjadi dan imbasnya pada koordinasi setting proteksi dari relay arus lebih pada sebuah jaringan distribusi 20 kV. Studi kasus yang pertama dan kedua mempelajari efek adanya penempatan PT terhadap arus gangguan dan koordinasi setting proteksi, sedangkan studi kasus kedua mempelajari tentang efek perbedaan lokasi penempatan PT terhadap arus gangguan dan koordinasi setting proteksi. Studi kasus pertama menggunakan jaringan distribusi radial 4 bus, sedangkan studi kasus kedua dan ketiga menggunakan jaringan distribusi 20kV pada penyulang empat GI Bukit Semarang Baru milik PLN UPJ Boja. Dalam ketiga studi kasus, menunjukkan hasil bahwa penempatan PT mengakibatkan meningkatnya nilai arus gangguan karena PT turut memberikan suplai arus gangguan ketika sebuah gangguan terjadi. Hal ini berakibat harus dilakukannya evaluasi setting koordinasi proteksi pada jaringan distribusi tersebut akibat penempatan PT. Titik penempatan PT yang berbeda juga akan berpengaruh pada besar aliran arus gangguan di sepanjang saluran, sehingga koordinasi proteksi antara jaringan dengan PT harus diperhatikan sesuai titik penempatan PT tersebut.

Kata Kunci : pembangkit terdistribusi, pt, relay, ocr, distribusi, koordinasi proteksi, setting, gangguan

Abstract

Distributed Generation (DG) is a new technology breakthrough and renewable energy solution. DG placement gives many advantages for power system, in example DG can improves efficiency and reliability of power system. This paper investigates DG placement effects against changed of fault currents value which may occurs and its effects on protection setting coordination from over current relay in a 20 kV distribution network. The first and second case study studied about DG placement effects against fault currents and protection setting coordination, and the third case study studied about the effects of different DG placement location against fault currents and and protection setting coordination too. The first case study used 4 bus radial distribution network, and the second and third of them used 20 kV distribution network Bukit Semarang Baru substation's fourth feeder, owned by PLN UPJ Boja. In all three case study, DG placement lead the increasing of fault current value because DG can gives fault current supply when a fault occurs. This case leads the protection coordination setting evaluation on that distribution network should be done. Different DG placement locations will also influent to fault current flows value along the network, so the protection coordination between the network and DG must be considered, appropriate with those DG placement locations.

Keywords : distributed generation, dg, relay, ocr, distribution, protection coordination, setting, fault

1. Pendahuluan

Pembangkit Terdistribusi merupakan terobosan teknologi generasi baru dan merupakan solusi energi terbarukan. Pembangkit Terdistribusi atau yang disebut juga *Distributed Generation* merupakan pembangkit berkapasitas kecil yang terletak pada sistem distribusi

tenaga listrik dan bersifat tersebar pada sistem tenaga listrik tersebut.

Pembangkitan Terdistribusi (PT) umumnya berupa sistem energi terbarukan atau sistem energi berkarbon rendah yang berskala kecil menengah, yang terletak di dekat pusat beban. Berbagai macam keuntungan dari PT telah

didiskusikan dalam literatur riset, seperti menyuplai beban pada area yang terpencil dan tanpa akses jaringan listrik, menambah fasilitas pembangkit, membangkitkan energi bersih, mengurangi rugi transmisi, meremajakan fasilitas infrastruktur dan memberikan dukungan tambahan seperti tegangan, kualitas daya, keandalan, dan lain-lain.

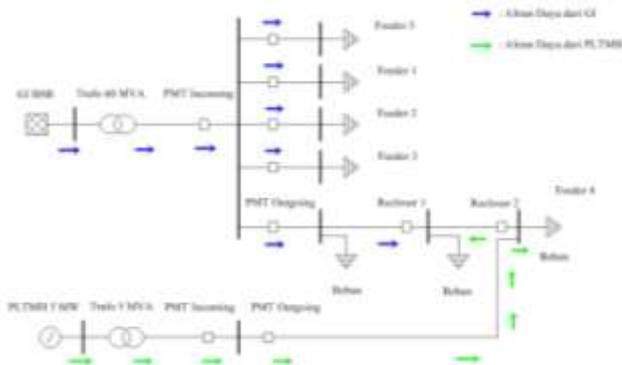
Penempatan PT pada sebuah jaringan distribusi dapat memberikan dampak lain terhadap jaringan tersebut. Menambahkan PT ke sebuah jaringan radial akan memberikan pengaruh pada jaringan tersebut berupa mempengaruhi distribusi arus gangguan. Jika terjadi sebuah gangguan hubung singkat pada jaringan, PT akan turut berkontribusi dalam besarnya aliran arus gangguan, oleh sebab itu, penambahan PT ini akan mempengaruhi operasi dan koordinasi dari peralatan proteksi dan *recloser*^[2].

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penulis mencoba melakukan analisis efek penempatan Pembangkit Terdistribusi terhadap arus gangguan dan koordinasi *setting* proteksi pada jaringan distribusi 20 kV. Data yang digunakan adalah jaringan distribusi 20 kV Gardu Induk Bukit Semarang Baru Penyulang 4 milik PLN UPJ Boja. Alat bantu perhitungan dan analisis yang digunakan adalah perangkat lunak MATLAB 7.6 dan ETAP 7.0.

2. Metode

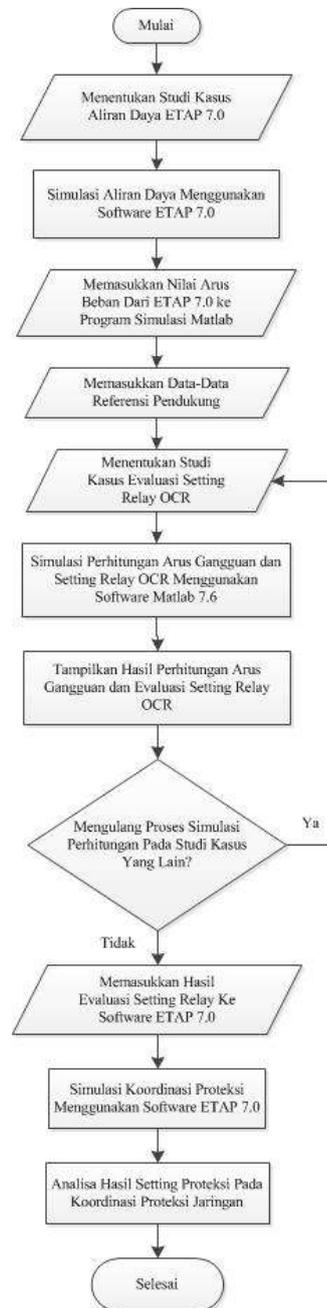
2.1 Pembuatan Program Simulasi

Jaringan distribusi yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data *existing* jaringan sistem distribusi radial 20 kV pada penyulang empat Gardu Induk Bukit Semarang Baru (BSB) milik PT. PLN UPJ Boja, Kendal. Jenis PT yang digunakan adalah PLTMH berkapasitas 5 MW yang terletak di sekitar ujung jaringan. Diagram satu garis jaringan distribusi penyulang 4 GI BSB UPJ Boja dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Satu Garis Jaringan Distribusi 20 kV Penyulang 4 GI BSB UPJ Boja

Secara umum metodologi penelitian analisis evaluasi *setting relay OCR* pada jaringan distribusi dengan pembangkit terdistribusi menggunakan program simulasi Matlab dan ETAP dapat dilihat pada diagram alir dalam Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir analisis evaluasi *setting relay* proteksi melalui pembuatan program simulasi ETAP 7.0 dan Matlab 7.6

Dalam makalah ini, dibutuhkan beberapa data jaringan distribusi untuk dapat melakukan simulasi aliran daya dan perhitungan arus gangguan serta *setting* proteksi *relay*. Beberapa data yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1 sampai dengan Tabel 4.

Tabel 1. Kapasitas dan Tegangan kerja Peralatan Utama

No.	Jenis Peralatan	Kapasitas (MVA)	Tegangan (kV)
1.	Gardu Induk	2601	150
2.	Trafo GI	60	150/20
3.	PLTMH	5,556	6,3
4.	Trafo PLTMH	5	6,3/20

Tabel 2. Nilai Impedansi Positif dan Negatif Peralatan Utama

No.	Jenis Peralatan	Impedansi Positif	Impedansi Nol
1.	Gardu Induk	$X_{sc} = 3,84\%$	$X_{sc} = 9,07387\%$
2.	Trafo GI	$X_{tgi} = 13,78\%$	$X_{tgi} = 41,34\%$
3.	PLTMH	$X_{d''} = 8\%$	$X_{d''} = 3,5\%$
4.	Trafo PLTMH	$X_{tPT} = 6\%$	$X_{tPT} = 18\%$
5.	Konduktor AAAC 240 mm ²	$0,1344 + j0,3158$ Ohm/Km	$0,2824 + j1,6033$ Ohm/Km

Tabel 3. Jarak antar Titik pada studi kasus 1

No.	Keterangan Titik	Jarak (m)
1.	Gardu Induk – Recloser 1	8.530
2.	Recloser 1 – Recloser 2	10.400
3.	Recloser 2 – Ujung Jaringan	5.850
4.	PLTMH – Ujung Jaringan	550
5.	Recloser 2 - PLTMH	8.100

Tabel 4. Jarak antar Titik pada studi kasus 2

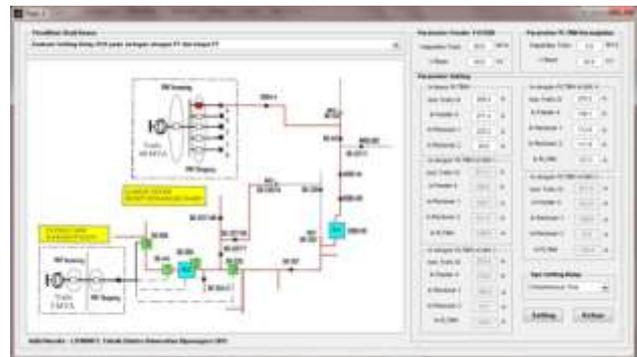
No.	Keterangan Titik	Jarak (m)
1.	Gardu Induk – Recloser 1	8.530
2.	Recloser 1 – Recloser 2	10.400
3.	Recloser 2 – Ujung Jaringan	5.850
4.	PLTMH titik X – Ujung Jaringan	550
5.	Recloser 2 – PLTMH titik X	8.100
6.	PLTMH titik 1 – Ujung Jaringan	9.250
7.	Recloser 2 – PLTMH titik 1	8.100
8.	PLTMH titik 2 – Ujung Jaringan	13.950
9.	Recloser 2 – PLTMH titik 2	8.100
10.	PLTMH titik 3 – Ujung Jaringan	19.650
11.	Recloser 2 – PLTMH titik 3	13.800

2.2 Pengoperasian Program Simulasi

Tampilan cover awal program dapat dilihat pada Gambar 3, sedangkan tampilan utama program dapat dilihat pula pada Gambar 4.

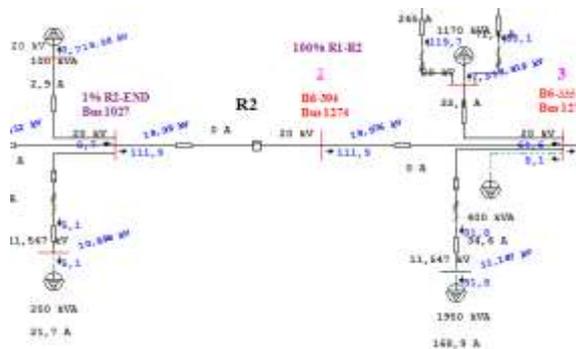


Gambar 3. Tampilan cover program simulasi MATLAB

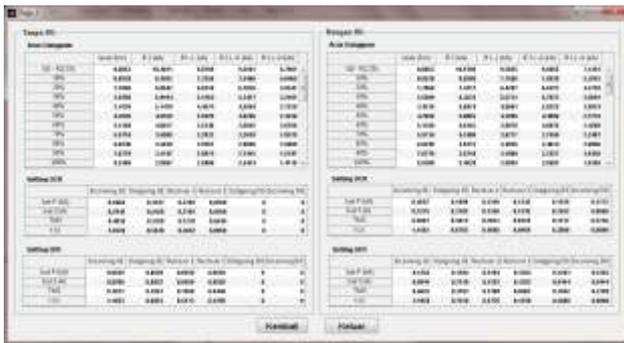


Gambar 4. Tampilan utama program simulasi MATLAB

Nilai-nilai arus beban yang harus dimasukkan ke program untuk perhitungan setting, didapatkan dengan melakukan simulasi aliran daya ETAP 7.0 seperti pada Gambar 5, sehingga hasil akhir perhitungan program MATLAB akan didapatkan tampilan hasil program simulasi seperti pada Gambar 6 atau Gambar 7.



Gambar 5. Tampilan program simulasi aliran daya ETAP



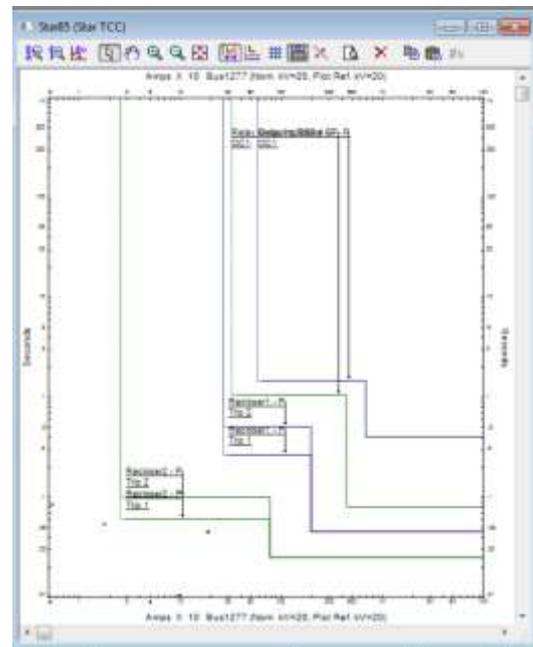
Gambar 6. Hasil perhitungan arus gangguan dan setting proteksi studi kasus I program simulasi MATLAB



Gambar 9. Tampilan program report simulasi koordinasi proteksi ETAP

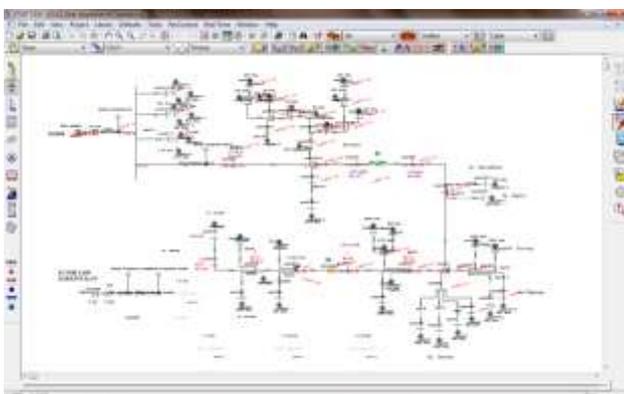


Gambar 7. Hasil perhitungan arus gangguan dan setting proteksi studi kasus II program simulasi MATLAB



Gambar 10. Grafik simulasi koordinasi proteksi ETAP

Hasil dari simulasi perhitungan kemudian dimasukkan kembali ke simulasi koordinasi proteksi ETAP, sehingga didapatkan simulasi koordinasi proteksi sesuai pada Gambar 8. Serta report koordinasi proteksi sesuai pada Gambar 9 dan grafik kurva setting seperti pada Gambar 10.



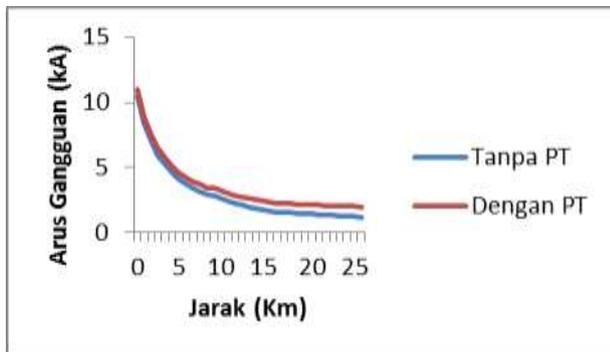
Gambar 8. Tampilan program simulasi koordinasi proteksi ETAP

3. Hasil Dan Analisa

3.1 Studi Kasus I (Jaringan Distribusi Dengan PT dan Tanpa PT)

Pada studi kasus yang pertama dilakukan analisis perubahan nilai arus gangguan hubung singkat serta setting koordinasi proteksi pada jaringan distribusi akibat penempatan Pembangkit Terdistribusi. Penempatan PT dilakukan pada tiang tiga fasa paling ujung dari penyulang BSB 4.

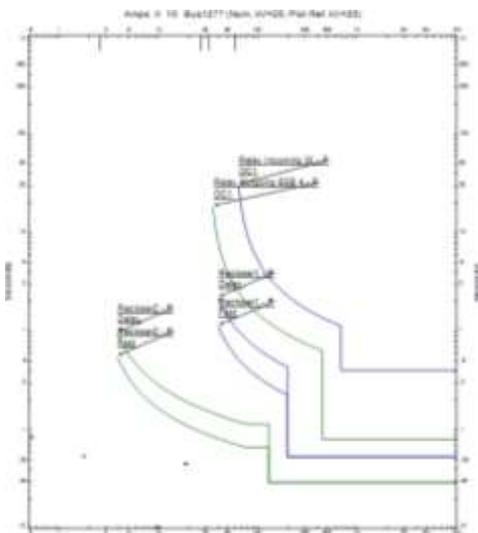
3.1.1 Perbandingan Arus Gangguan pada Jaringan dengan PT dan Jaringan tanpa PT



Gambar 11. Grafik Perbandingan Hasil Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa (GI sampai Ujung Jaringan) antara Jaringan tanpa PT dan dengan PT

Berdasarkan grafik pada Gambar 11 tersebut dapat dilihat bahwa arus gangguan hubung singkat tiga fasa pada jaringan dengan PT akan memiliki nilai lebih besar daripada jaringan tanpa PT sejalan dengan bertambahnya jarak titik gangguan dari Gardu Induk. Penempatan PT di ujung jaringan distribusi mengakibatkan semakin dekat titik gangguan ke titik penempatan PT maka kontribusi arus gangguan dari PT akan semakin besar.

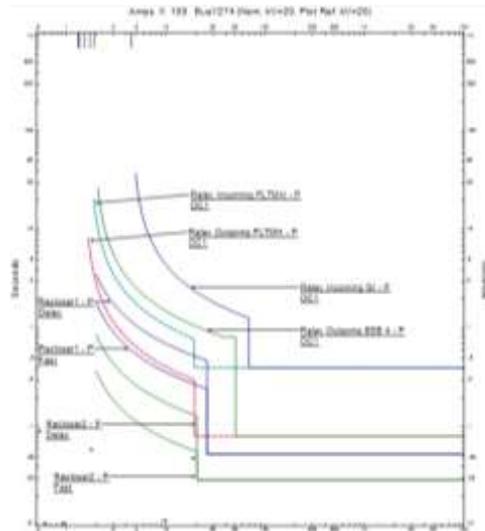
3.1.2 Analisis Setting Koordinasi Proteksi pada Jaringan dengan PT dan Jaringan tanpa PT



Gambar 12. Grafik setting koordinasi proteksi OCR pada jaringan tanpa PT

Gambar 12 di atas merupakan gambar grafik koordinasi proteksi pada jaringan tanpa PT. Peralatan proteksi yang masuk dalam koordinasi proteksi pada Gambar 12 adalah *Recloser 2*, *Recloser 1*, *PMT Outgoing GI* dan *PMT Incoming GI*. Jika terjadi gangguan hubung singkat di

depan *Recloser 2*, maka *Recloser 2* akan bekerja lebih dulu. *Recloser 1* akan bekerja pada urutan selanjutnya sebagai *back up*, kemudian selanjutnya adalah *PMT Incoming GI* dan terakhir *PMT Outgoing GI*.



Gambar 13. Grafik setting koordinasi proteksi OCR pada jaringan dengan PT

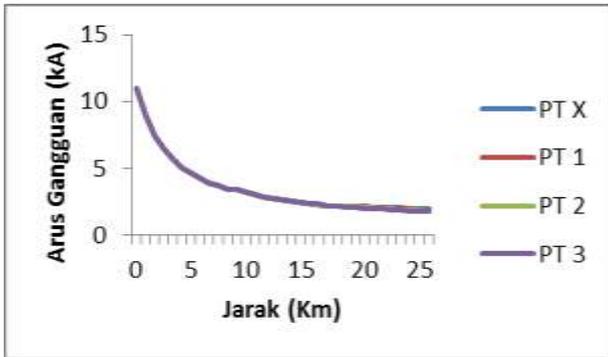
Gambar 13 di atas merupakan gambar grafik koordinasi proteksi pada jaringan dengan PT. Peralatan proteksi yang masuk dalam koordinasi proteksi pada Gambar 13 adalah *Recloser 2*, *Recloser 1*, *PMT Outgoing GI*, *PMT Incoming GI*, serta *PMT Outgoing PLTMH* dan *PMT Incoming PLTMH* yang memiliki kurva setting bergaris putus-putus. Hasil perhitungan evaluasi setting menghasilkan bahwa koordinasi proteksi PLTMH bersifat mandiri dan terpisah dari koordinasi proteksi Gardu Induk. Dilihat dari sudut pandang koordinasi proteksi Gardu Induk, jika terjadi gangguan hubung singkat di depan *Recloser 2*, maka *Recloser 2* akan bekerja lebih dulu. *Recloser 1* akan bekerja pada urutan selanjutnya sebagai *back up*, kemudian selanjutnya adalah *PMT Incoming GI* dan terakhir *PMT Outgoing GI*. Jika dilihat dari sudut pandang koordinasi proteksi PLTMH, ketika ada gangguan di antara depan *Recloser 2* dan di depan PLTMH, maka *PMT Outgoing PLTMH* akan bekerja lebih dulu, dan *PMT Incoming PLTMH* akan bekerja sebagai *back up*. Ketika ada gangguan di belakang *Recloser 2*, maka *PMT Outgoing PLTMH* akan bekerja setelah *Recloser 2*. Hal ini dikarenakan setting *Recloser 2* sudah cukup kecil sehingga *PMT Outgoing PLTMH* akan bekerja lebih lambat dari *Recloser 2*.

3.2 Studi Kasus II (Pengaruh Lokasi Penempatan PT)

Pada studi kasus yang kedua dilakukan analisis pengaruh lokasi penempatan PT terhadap nilai arus gangguan hubung singkat serta setting koordinasi proteksi pada jaringan distribusi. Lokasi penempatan Pembangkit

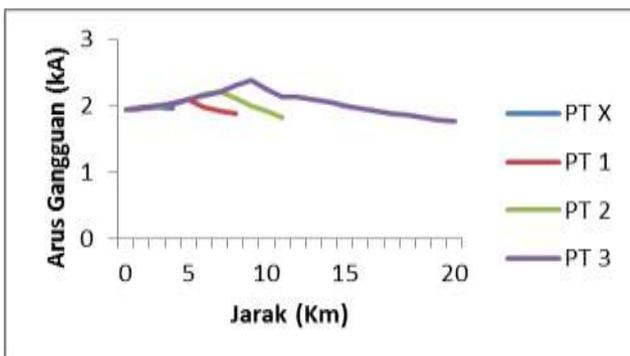
Terdistribusi berupa PLTMH pada studi kasus kedua ini terdapat kemungkinan empat titik lokasi penempatan, yaitu titik lokasi X, lokasi 1, lokasi 2, dan lokasi 3.

3.2.1 Perbandingan Arus Gangguan pada Jaringan dengan Lokasi Penempatan PT yang Berbeda



Gambar 14. Grafik Perbandingan Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa (GI sampai Ujung Jaringan) pada Jaringan dengan lokasi penempatan PT yang berbeda

Grafik pada Gambar 14 di atas menunjukkan bahwa kurva nilai arus gangguan hubung singkat tiga fasa dari GI sampai ujung jaringan, pada jaringan dengan lokasi penempatan PT yang berbeda, terlihat berhimpit dan memiliki perbedaan nilai yang tidak terlalu jauh. Hal ini dikarenakan rencana lokasi penempatan PT semuanya tidak terlalu jauh dari ujung jaringan, sehingga nilai kenaikan arus gangguan hubung singkat akibat penempatan PT bernilai tidak terlalu jauh di antara beberapa titik lokasi penempatan PT tersebut.

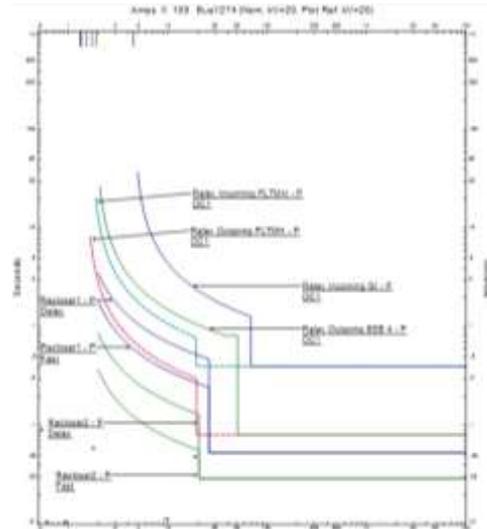


Gambar 15. Grafik Perbandingan Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa (PLTMH sampai Ujung Jaringan) pada Jaringan dengan lokasi penempatan PT yang berbeda

Gambar 15 di atas menunjukkan bahwa ketika titik gangguan semakin mendekati titik *joint* antara saluran PLTMH dengan jaringan, arus gangguan akan semakin meningkat dan ketika titik gangguan terletak setelah titik *joint* sampai dengan ujung jaringan, arus gangguan akan kembali menurun. Hal ini dikarenakan ketika titik

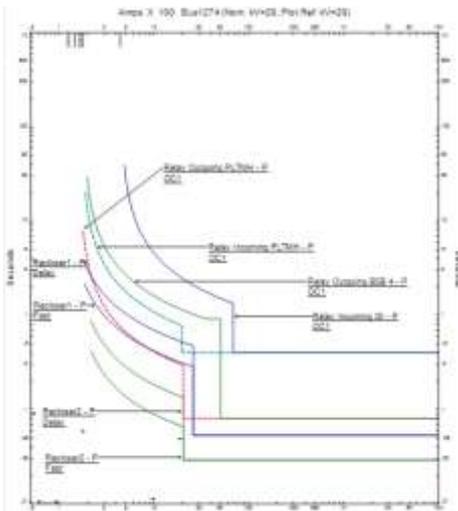
gangguan mendekati titik *joint*, arus gangguan dari GI akan semakin besar berkontribusi pada arus gangguan total, sedangkan ketika titik gangguan semakin menjauhi titik gangguan maka kontribusi arus gangguan dari GI akan semakin kecil.

3.2.2 Analisis Setting Koordinasi Proteksi pada Jaringan dengan Lokasi Penempatan PT yang Berbeda



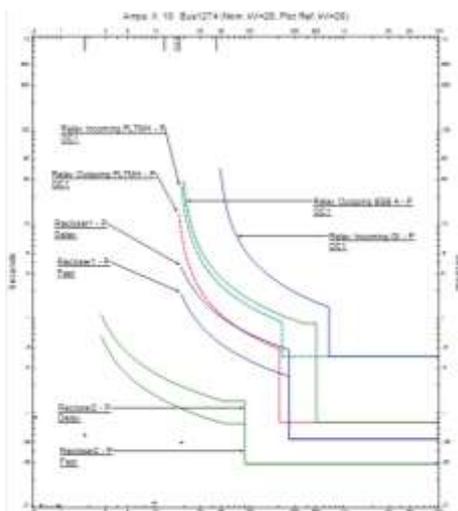
Gambar 16. Grafik *setting* koordinasi proteksi OCR pada jaringan dengan PT di titik lokasi X

Gambar 16 di atas merupakan gambar grafik koordinasi proteksi pada jaringan dengan PT di titik X. Hasil perhitungan evaluasi *setting* menghasilkan bahwa koordinasi proteksi PLTMH bersifat mandiri dan terpisah dari koordinasi proteksi Gardu Induk. Dilihat dari sudut pandang koordinasi proteksi Gardu Induk, jika terjadi gangguan hubung singkat di depan *Recloser 2*, maka *Recloser 2* akan bekerja lebih dulu. *Recloser 1* akan bekerja pada urutan selanjutnya sebagai *back up*, kemudian selanjutnya adalah PMT *Incoming* GI dan terakhir PMT *Outgoing* GI. Jika dilihat dari sudut pandang koordinasi proteksi PLTMH, ketika ada gangguan di antara depan *Recloser 2* dan di depan PLTMH, maka PMT *Outgoing* PLTMH akan bekerja lebih dulu, dan PMT *Incoming* PLTMH akan bekerja sebagai *back up*. Ketika ada gangguan di belakang *Recloser 2*, maka PMT *Outgoing* PLTMH akan bekerja setelah *Recloser 2*. Hal ini dikarenakan *setting Recloser 2* sudah cukup kecil sehingga PMT *Outgoing* PLTMH akan bekerja lebih lambat dari *Recloser 2*.



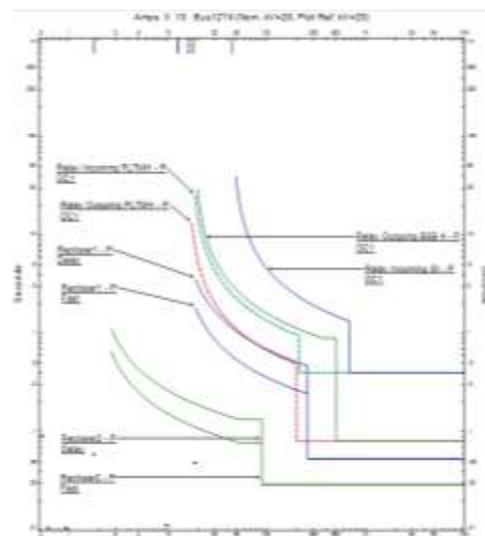
Gambar 17. Grafik setting koordinasi proteksi OCR pada jaringan dengan PT di titik lokasi 1

Gambar 17 di atas merupakan gambar grafik koordinasi proteksi pada jaringan dengan PT di titik 1. Hasil perhitungan evaluasi *setting* menghasilkan bahwa koordinasi proteksi PLTMH bersifat mandiri dan terpisah dari koordinasi proteksi Gardu Induk. Dilihat dari sudut pandang koordinasi proteksi Gardu Induk, jika terjadi gangguan hubung singkat di depan *Recloser 2*, maka *Recloser 2* akan bekerja lebih dulu. *Recloser 1* akan bekerja pada urutan selanjutnya sebagai *back up*, selanjutnya adalah PMT *Incoming GI* dan terakhir PMT *Outgoing GI*. Jika dari sudut pandang koordinasi proteksi PLTMH, ketika gangguan di antara depan *Recloser 2* dan di depan PLTMH, maka PMT *Outgoing PLTMH* akan bekerja lebih dulu, dan PMT *Incoming PLTMH* akan bekerja sebagai *back up*, akan tetapi ketika ada gangguan di belakang *Recloser 2*, maka PMT *Outgoing PLTMH* akan bekerja setelah *Recloser 2*.



Gambar 18. Grafik setting koordinasi proteksi OCR pada jaringan dengan PT di titik lokasi 2

Gambar 18 di atas merupakan gambar grafik koordinasi proteksi pada jaringan dengan PT di titik 2. Hasil perhitungan evaluasi *setting* menghasilkan bahwa koordinasi proteksi PLTMH memiliki hubungan koordinasi proteksi Gardu Induk. Dilihat dari sudut pandang koordinasi proteksi Gardu Induk, jika terjadi gangguan hubung singkat di depan *Recloser 2*, maka *Recloser 2* akan bekerja lebih dulu. *Recloser 1* akan bekerja pada urutan selanjutnya sebagai *back up*, kemudian selanjutnya adalah PMT *Incoming GI* dan terakhir PMT *Outgoing GI*. Jika dilihat dari sudut pandang koordinasi proteksi PLTMH, ketika gangguan di antara depan *Recloser 2*, maka *Recloser 2* akan bekerja lebih dulu, dan PMT *Outgoing PLTMH* akan bekerja sebagai *back up* dan terakhir adalah PMT *Incoming PLTMH*, akan tetapi ketika ada gangguan di belakang *Recloser 2* atau juga di depan PMT *Outgoing PLTMH*, maka PMT *Outgoing PLTMH* akan bekerja lebih dulu dan kemudian sebagai *back up* adalah PMT *Incoming PLTMH*.



Gambar 19. Grafik setting koordinasi proteksi OCR pada jaringan dengan PT di titik lokasi 3

Gambar 19 di atas merupakan gambar grafik koordinasi proteksi pada jaringan dengan PT di titik 3. Hasil perhitungan evaluasi *setting* menghasilkan bahwa koordinasi proteksi PLTMH memiliki hubungan koordinasi proteksi Gardu Induk. Dilihat dari sudut pandang koordinasi proteksi Gardu Induk, jika terjadi gangguan hubung singkat di depan *Recloser 2*, maka *Recloser 2* akan bekerja lebih dulu. *Recloser 1* akan bekerja pada urutan selanjutnya sebagai *back up*, kemudian selanjutnya adalah PMT *Incoming GI* dan terakhir PMT *Outgoing GI*. Jika dilihat dari sudut pandang koordinasi proteksi PLTMH, ketika ada gangguan di antara depan *Recloser 2*, maka *Recloser 2* akan bekerja lebih dulu, dan PMT *Outgoing PLTMH* akan bekerja sebagai *back up* dan terakhir adalah PMT *Incoming PLTMH*, akan tetapi ketika gangguan di

belakang *Recloser* 2 atau juga di depan PMT *Outgoing* PLTMH, maka PMT *Outgoing* PLTMH akan bekerja lebih dulu dan kemudian sebagai *back up* adalah PMT *Incoming* PLTMH.

4. Kesimpulan

Penempatan Pembangkit Terdistribusi dapat menyebabkan naiknya nilai arus gangguan hubung singkat, terutama pada arus gangguan dengan titik gangguan berada di dekat penempatan Pembangkit Terdistribusi. Penempatan PT pada jaringan distribusi akan mengakibatkan perubahan aliran arus beban dan arus gangguan yang mengharuskan adanya evaluasi *setting* koordinasi proteksi pada jaringan tersebut, dan untuk evaluasi *setting* proteksi pada beberapa titik penempatan PT harus memperhatikan koordinasi antara peralatan proteksi jaringan dengan peralatan proteksi dari PT tersebut. Studi analisis evaluasi *setting* proteksi dapat dilanjutkan ke evaluasi *setting* koordinasi peralatan proteksi lainnya, seperti *Fuse*, *Sectionalizer*, atau *ABSW*, dan juga dapat dicoba pada jaringan distribusi *existing* lain untuk mengetahui efek penempatan PT pada jaringan tersebut. Studi lebih lanjut bisa lebih dikembangkan dengan memberikan variasi jumlah PT yang ditempatkan sesuai dengan kondisi wilayah jaringan distribusi yang digunakan.

Referensi

- [1]. Doyle, Michael T. "Reviewing the Impacts of Distributed Generation on Distribution System Protection", *IEEE*. 2002.
- [2]. Mashau, T. Kibaara, S. Chowdhury, S. Chowdhury, S.P. "Impact of Distributed Generation on Protection Coordination in a Radial Distribution Feeder", *University of Cape Town, South Africa*. 2011.
- [3]. Setyaatmoko, Franky Dwi. "Studi Arus Gangguan Hubung Singkat Menggunakan Pemodelan ATP/EMTP pada Jaringan Transmisi 150 kV di Sulawesi Selatan", Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh November, Indonesia. 2011.
- [4]. Darmanto, Nugroho Agus. Handoko, Susatyo. "Analisis Koordinasi OCR – Recloser Penyulang Kaliwungu 03", Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik., Universitas Diponegoro, Indonesia. 2006.
- [5]. Laksana, Eka Setya. "Analisis Koordinasi Sistem Pengaman *Incoming* dan Penyulang *Transformator* 3 di GI Sukolilo Surabaya", Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh November, Indonesia. 2011.
- [6]. Priyono, Sugeng. "Koordinasi Sistem Proteksi Trafo 30 MVA di Gardu Induk 150 kV Krapyak", Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Indonesia. 2005.
- [7]. Sarimun, Wahyudi. "Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik", Garamod. 2012.
- [8]. Setiawati, Rahmahani. "Evaluasi *Setting* Koordinasi Over Current Relay (OCR) dan Ground Fault Relay (GFR) pada *Recloser* dengan *Relay Outgoing* Pandean Lamper 5

Menggunakan Simulasi *Software Electric Transient Analysis Program* (ETAP) 7.5". Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Indonesia. 2013.

- [9]. Davies, T. "Protection of Industrial Power Systems". Newnes. 1996.
- [10]. Saadat, Hadi. "Power System Analysis". McGraw Hill. 1999.
- [11]. Stevenson, William D. 1983. "Analisis Sistem Tenaga Listrik". Erlangga. 1996.
- [12]. -----, "Applications for SIPROTEC Protection Relays". Siemens PTD EA. 2005.
- [13]. Shuang, Hou. Qinxiang, Gao. "Review of Impact of Distributed Generation on Distribution System", *School of Electrical Engineering, Beijing Jiaolong University, Beijing, China*. 2011.
- [14]. Tian, Youwen. Guo, Lijien. Ji, Xiaohan. Hai, Peng. "The analysis of distributed generation influence on feeder protection", *College of Information and Electrical Engineering, Shenyang Agricultural University, Shenyang, China*. 2011.
- [15]. Coster, Edward J., Myrzik, Johanna M. A., Kruimer, Bas. Kling, Wil L.. "Integration Issues of Distributed Generation in Distributed Grids". IEEE. 2010.
- [16]. Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral. "Pedoman Teknis Standardisasi Peralatan dan Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)". Indonesia. 2008.
- [17]. Perusahaan Umum Listrik Negara. "SPLN 52-3 : 1983, Pola Pengamanan Sistem, Bagian Tiga : Sistem Distribusi 6 kV dan 20 kV". Indonesia. 1983.
- [18]. Perusahaan Umum Listrik Negara. "SPLN 64 : 1985, Petunjuk Pemilihan dan Penggunaan Pelebur pada Sistem Distribusi Tegangan Menengah". Indonesia. 1985.