

# Pengaruh *Distributed Generation* terhadap Koordinasi Proteksi Recloser Fuse pada Jaringan IEEE 34 Node Menggunakan ETAP

Mochammad Nawawi Ulumudin<sup>1</sup>, Hari Purnama<sup>2</sup>, Supriyanto<sup>3\*</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

<sup>1</sup>E-mail : mohammad.nawawi.tlis18@polban.ac.id

<sup>2</sup>E-mail : haripoernama@gmail.com

<sup>3</sup>E-mail: \*supriyanto\_suhono@polban.ac.id

\*E-mail korespondensi

## ABSTRAK

Peningkatan kebutuhan energi listrik menjadi alasan dasar untuk meningkatkan distribusi energi listrik. Meningkatnya kebutuhan listrik ini menuntut kapasitas yang besar untuk memenuhi bertambahnya beban yang ada. Salah satu upayanya adalah penambahan *distributed generation*. Penambahan ini harus meliputi perencanaan penentuan penambahan pembangkit dengan lokasi optimal dan perencanaan sistem koordinasi proteksi. Mekanisme koordinasi proteksi recloser dan fuse adalah untuk mengurangi jumlah fuse yang putus pada saat gangguan temporer, penambahan *distributed generation* mengakibatkan terjadinya kegagalan koordinasi. Tujuan dari penelitian ini yaitu melihat pengaruh penambahan *distributed generation* terhadap koordinasi proteksi recloser dan fuse pada jaringan menggunakan simulasi *software ETAP*. Metode tahapan proses dilakukan pada jaringan IEEE 34 Node Test Feeder. Terdapat 2 simulasi yang dilakukan yaitu simulasi *load flow* dan simulasi *short circuit*. Kurva koordinasi proteksi ditampilkan dari *star view* untuk menampilkan koordinasi proteksi saat terjadi gangguan. Penambahan *distributed generation* berkapasitas 1,075 MVA dititik 836 mempengaruhi koordinasi proteksi dengan waktu kerja minimum *melting fuse* lebih cepat dengan waktu 32,2 ms dibandingkan recloser cepat dengan waktu 68,4 ms sehingga menyebabkan urutan kerja proteksi tidak berjalan baik.

## Kata Kunci

*Distributed generation; recloser; fuse; IEEE 34 node; software ETAP*

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan dunia saat ini memperlihatkan adanya peningkatan pesat terhadap kebutuhan energi listrik. Peningkatan ini dipengaruhi dari berkembangnya berbagai kebutuhan yang tidak lepas dari pemakaian listrik baik dari beban pada konsumen rumah maupun perindustrian dalam menggunakan sumber energi listrik di berbagai lingkup tempat. Disisi lain, hal yang mempengaruhi peningkatan yaitu pembaharuan terdistribusi untuk menjangkau seluruh daerah dalam mendapatkan energi listrik. Hal ini mengakibatkan bertambahnya beban listrik yang mempengaruhi pendistribusian listrik.

Seiring berjalannya waktu, peningkatan beban yang harus ditanggung menuntut peningkatan kapasitas besar. Peningkatan kapasitas salah satunya dapat dilakukan dengan menambah pembangkit yang terhubung dengan pembangkit lain. Sayangnya, penambahan pembangkit ini tidak serta merta dapat dilakukan secara mudah tanpa perencanaan, karena Indonesia merupakan negara luas yang dimana dari sistem pembangkitan memiliki jarak yang sangat jauh terhadap konsumen pengguna energi listrik. Maka dari itu, dibutuhkan penyelesaian yang tepat dalam permasalahan ini. Salah satu solusi terintegrasi terhadap permasalahan ini adalah melakukan pemasangan pembangkit terdistribusi atau

*Distributed Generation*. Pembangkit terdistribusi atau *distributed generation* ini salah satu teknologi pembangkit tersebar yang memiliki kapasitas kecil, berkisar belasan kilowatt (KW) sampai Megawatt (MW) [1]. *Distributed generation* atau pembangkit terdistribusi merupakan pembangkit listrik yang melayani konsumen di tempat (*on-site*), atau untuk mendukung jaringan distribusi, dan terhubung ke jaringan pada level tegangan distribusi [2].

Pemasangan *Distributed Generation* dapat meningkatkan kapasitas terhadap daya yang ada. Namun, hal ini bukan berarti penambahan *Distributed Generation* tidak menimbulkan masalah baru. Penambahan *Distributed Generation* pada jaringan distribusi dapat menyebabkan peningkatan arus gangguan pada sistem yang mengakibatkan kesalahan koordinasi terhadap sistem peralatan proteksi [3]. Gangguan tersebut menyebabkan sistem koordinasi proteksi pada suatu jaringan distribusi tidak berjalan dengan baik sebagaimana mestinya. Ketika koordinasi proteksi ini tidak berjalan dengan baik, maka keberlanjutan pendistribusian jadi terganggu. Bertambahnya arus gangguan ini mempengaruhi bagian proteksi terutama *fuse cut out* sebagai alat pemutus rangkaian yang sering digunakan ketika terjadi arus lebih ataupun tegangan lebih pada ujung lateral penyulang. Tentu saja ini memberikan efek domino

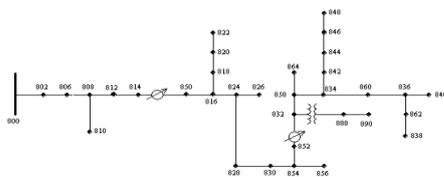
pada recloser yang biasa digunakan untuk koordinasi *fuse saving*.

Penelitian yang akan ditampilkan dalam paper ini adalah pembahasan pengaruh yang dihasilkan dari pemasangan pembangkit terdistribusi atau *Distributed Generation* terhadap koordinasi recloser dan fuse pada jaringan distribusi sistem IEEE 34 *Node Test Feeder* dengan simulasi menggunakan *software* ETAP 12.6.0. Beberapa faktor perubahan yang diamati diantaranya, nilai tegangan, rugi-rugi daya, serta arus hubung singkat yang terjadi. Sehingga dari data faktor perubahan tersebut kita dapat mengetahui pengaruh pembangkit terdistribusi ini pada sistem koordinasi khususnya sistem proteksi recloser dan fuse.

## 2. KINERJA SISTEM

### 2.1 IEEE 34 Node Test Feeder

*IEEE 34 Node Test Feeder* adalah sebuah representasi dari analisis nyata sistem distribusi pada sebuah penyulang yang terletak di Arizona, Amerika Serikat. Sistem *IEEE 34 Node Test Feeder* merupakan bagian dari penggambaran fisik secara nyata yang terdapat lapangan [7].

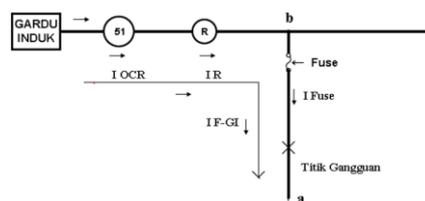


Gambar 1. *IEEE 34 Node Test Feeder* [15]

Pengembangan dan publikasi mengenai variasi sistem tidak seimbang yang dilakukan *IEEE Distribution System Analysis Subcommittee* dapat digunakan untuk menunjang penelitian pada simulasi kelistrikan sistem tenaga [7]. Sistem distribusi ini beroperasi pada basis 2,5-MVA dengan penggunaan transformator gardu induk 69 / 24,9-kV dan peringkat transformator *step-down* 24,9 / 4,16-kV di salah satu lateral hilir [8].

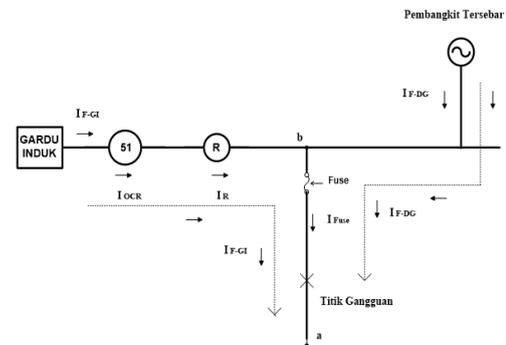
### 2.2 Koordinasi Proteksi Fuse-Recloser pada Integrasi *Distributed Generation*

*Distributed generation* atau pembangkit terdistribusi adalah pembangkit listrik yang melayani konsumen di tempat (*on-site*) atau untuk mendukung jaringan distribusi, serta terhubung ke jaringan pada level tegangan distribusi [2].



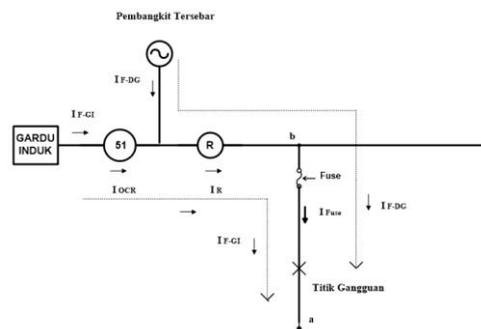
Gambar 2. Arus hubung singkat tanpa DG pada jaringan [10]

Gambar 2 menjelaskan koordinasi sebelum penambahan DG. Arus hubung singkat melewati recloser dan fuse bernilai sama sebesar  $I_{F-GI}$ . Dengan kata lain, recloser dan fuse akan berkoordinasi dalam bekerja untuk memproteksi jaringan.



Gambar 3. Arus hubung singkat dengan titik gangguan antara DG dan recloser [10]

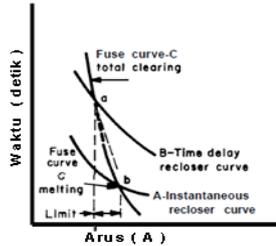
Gambar 3 menjelaskan koordinasi dengan penambahan DG. Penambahan ini berpengaruh pada perbedaan masuknya arus gangguan pada recloser dan fuse. Titik gangguan terletak diantara recloser dan DG yang menyebabkan nilai arus gangguan fuse akan lebih besar dibandingkan dengan recloser.



Gambar 4. Arus hubung singkat dengan titik gangguan setelah DG dan recloser [10]

Gambar 4 menjelaskan koordinasi dengan penambahan DG. Titik gangguan hubung singkat terletak setelah posisi DG dan proteksi recloser serta fuse. Pada posisi ini arus gangguan pada fuse akan bernilai sama dengan recloser.

Koordinasi kedua proteksi akan berjalan baik ketika nilai rating sesuai. Hal tersebut harus diketahui dari kombinasi proteksi yang berkoordinasi. Recloser mempunyai dua karakteristik pemutusan, yaitu pemutusan waktu operasi cepat dan operasi lambat seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 5. Kurva Koordinasi Recloser dan Fuse

Pemutusan operasi cepat (*fast tripping*) berfungsi untuk memproteksi adanya gangguan temporer. Recloser memutuskan jaringan dengan kurva operasi cepatnya pada gangguan temporer dan menunggu beberapa detik untuk menghubungkan jaringan kembali untuk memastikan masalah telah teratasi. Skenario ini akan berulang 2 sampai 3 kali. Jika kesalahan masih ada, maka kesalahan tersebut permanen dan recloser akan bergerak ke kurva lambat membiarkan fuse terbuka [9]. Koordinasi proteksi pada jaringan distribusi integrasi DG mempertimbangkan arah dan magnitude arus gangguan yang besarnya tergantung kapasitas DG dan lokasi penempatan DG. Perencanaan koordinasi proteksi ditunjukkan persamaan (1) dan (2), secara rinci ditunjukkan pada publikasi [10].

$$t(I_{Fi}) > t(I_{RA}) \forall I_{Fi} \begin{cases} I_{F \min} \leq I_{Fi} \leq I_{F \max} \\ I_{F \min}, I_{F \max} > 0 \end{cases} \quad (1)$$

dimana :  $t(I_{Fi}) =$  waktu operasi fuse

$t(I_{RA}) =$  waktu operasi pemutusan cepat recloser

Setiap arus gangguan yang melalui fuse ( $I_{Fi}$ ), waktu operasi fuse  $t(I_{Fi})$  akan lebih besar dari waktu operasi cepat dari recloser  $t(I_{RA})$ .

$$t(I_{RBB}) > t(I_{Fi}) \forall I_{Fi} \begin{cases} I_{F \min} \leq I_{Fi} \leq I_{F \max} \\ I_{F \min}, I_{F \max} > 0 \end{cases} \quad (2)$$

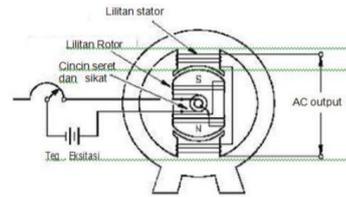
dimana :  $t(I_{Fi}) =$  waktu operasi fuse

$t(I_{RBB}) =$  waktu operasi pemutusan lambat recloser

Setiap arus gangguan yang melalui fuse ( $I_{Fi}$ ), waktu operasi fuse  $t(I_{Fi})$  tidak melampaui waktu operasi lambat dari recloser  $t(I_{RBB})$ .

### 2.3 Generator Sinkron

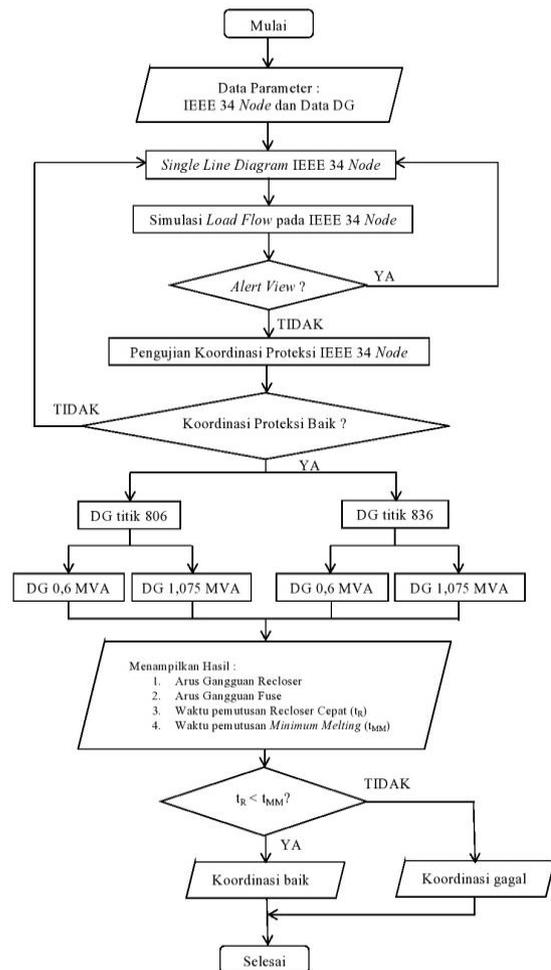
Generator sinkron merupakan mesin listrik arus bolak balik yang menghasilkan tegangan serta arus bolak balik atau AC (*Alternating Current*) dengan cara kerja yaitu mengubah energi gerak menjadi energi listrik dengan adanya induksi medan magnet [12]. Generator sinkron memiliki prinsip kerja sebagai berikut [13] :



Gambar 6. Generator Sinkron

Kumparan medan pada rotor dihubungkan dengan sumber eksitasi tertentu yang nantinya mensuplai arus searah terhadap kumparan medan. Arus Searah yang melalui kumparan medan akan menimbulkan fluks yang besarnya terhadap waktu adalah tetap. Penggerak mula yang sudah terhubung dengan rotor akan beroperasi dan memutar rotor pada kecepatan nominalnya. Putaran rotor akan memutar medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan medan. Medan putar yang dihasilkan pada rotor akan diinduksikan pada kumparan jangkar sehingga pada kumparan jangkar yang terletak di stator akan dihasilkan fluks magnetik yang mengalami perubahan besarnya terhadap waktu.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 7. Diagram Alir

Tahapan pengujian hubung singkat dari koordinasi proteksi recloser-fuse dilakukan dengan 2 langkah utama :

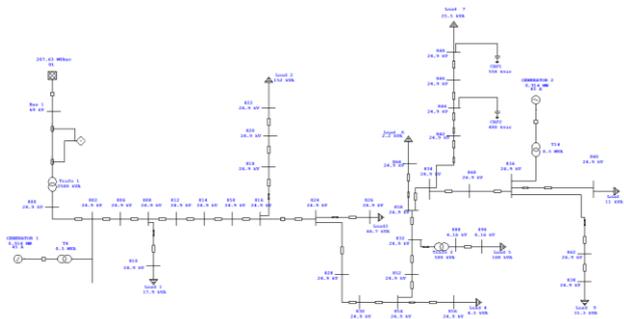
**a. Pengujian Load Flow**

Pengujian ini bertujuan untuk memastikan seluruh perangkat jaringan dapat beroperasi dengan baik. Aliran daya harus dipastikan tidak mengganggu perangkat yang ada. Pada pengujian ini harus memastikan tidak adanya *critical* pada jaringan dari setiap komponen dengan melihat pada bagian *alert view*. Sehingga semua komponen aman pada jaringan

**b. Pengujian Short Circuit**

Pengujian hubung singkat dilakukan di tiga titik setelah recloser pada bagian *fuse saving*. Titik yang diberi gangguan yaitu titik 826 (F1), 856 (F2), dan 864 (F3). Setiap titik yang diberi gangguan akan dilihat dan dicatat nilai arus yang mengalir pada sistem proteksi. Kondisi jaringan berbeda ketika dilakukan uji hubung singkat. Kondisi pertama yaitu kondisi jaringan tanpa adanya penambahan *Distributed Generation*. Kondisi kedua yaitu kondisi jaringan dengan penambahan *Distributed Generation* pada titik 802. Kondisi ketiga yaitu kondisi jaringan dengan penambahan *Distributed Generation* di titik 836. Generator yang ditambahkan memiliki kapasitas 0.6 MVA dan 1,075 MVA.

**3.1 Pemodelan Jaringan Interkoneksi *Distributed Generation* pada IEEE 34 Node**



Gambar 8. Pemodelan Jaringan Interkoneksi *Distributed Generation* pada IEEE 34 Node

Pemodelan jaringan dilakukan pada perangkat lunak ETAP 12.6.0. Pada jaringan tersebut terdapat 2 bagian koordinasi proteksi yaitu *fuse saving* dan *fuse blowing*. Titik gangguan dilakukan pada daerah *fuse saving* dengan maksud untuk mengetahui koordinasi proteksi recloser dalam mengamankan fuse.

**3.3 Data Sistem**

Tabel 1. Data Jaringan tanpa DG

Titik gangguan	Arus Gangguan		Waktu Pemutusan				Keadaan
	I <sub>R</sub> (A)	I <sub>F</sub> (A)	Recloser		Fuse		
			Cepat (ms)	Lambat (ms)	MM (ms)	TC (ms)	
F1	233	233	53	269	55.1	84.3	Baik
F2	180	180	63.1	365	157	212	Baik
F3	164	164	68.4	411	66.6	106	Baik

Tabel 2. Data Jaringan dengan DG 0,6 MVA di titik 802

Titik gangguan	Arus Gangguan		Waktu Pemutusan				Keadaan
	I <sub>R</sub> (A)	I <sub>F</sub> (A)	Recloser		Fuse		
			Cepat (ms)	Lambat (ms)	MM (ms)	TC (ms)	
F1	237	237	52.4	264	53.1	81.7	Baik
F2	182	182	62.5	359	153	207	Baik
F3	166	166	67.6	405	65.6	104	Baik

Tabel 3. Data Jaringan dengan DG 0,6 MVA di titik 836

Titik gangguan	Arus Gangguan		Waktu Pemutusan				Keadaan
	I <sub>R</sub> (A)	I <sub>F</sub> (A)	Recloser		Fuse		
			Cepat (ms)	Lambat (ms)	MM (ms)	TC (ms)	
F1	232	237	53.1	270	38.5	63.6	Baik
F2	176	215	64.2	375	110	151	Baik
F3	164	205	68.4	411	42.7	73.1	Baik

Tabel 4. Data Jaringan dengan DG 1,075 MVA di titik 802

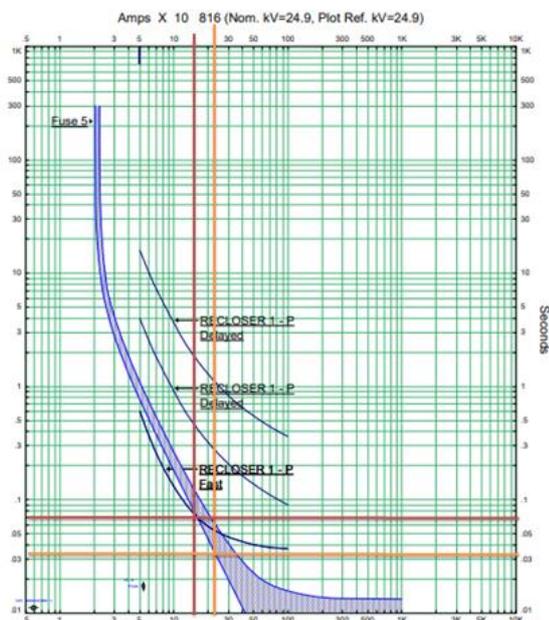
Titik gangguan	Arus Gangguan		Waktu Pemutusan				Keadaan
	I <sub>R</sub> (A)	I <sub>F</sub> (A)	Recloser		Fuse		
			Cepat (ms)	Lambat (ms)	MM (ms)	TC (ms)	
F1	239	239	52.2	262	52.3	80.8	Baik
F2	183	183	62.3	357	151	205	Baik
F3	167	167	67.4	403	64.7	103	Baik

Tabel 5. Data Jaringan dengan DG 1,075 MVA di titik 836

Titik gangguan	Arus Gangguan		Waktu Pemutusan				Keadaan
	I <sub>R</sub> (A)	I <sub>F</sub> (A)	Recloser Cepat (ms)	Recloser Lambat (ms)	Fuse MM (ms)	Fuse TC (ms)	
F1	232	308	53.1	271	31.4	54.7	Baik
F2	174	238	65	382	89.4	126	Baik
F3	164	236	68.4	411	32.2	58.7	Tidak Baik

Tabel 1, 2, 3, 4, dan 5 diatas menggambarkan data hubung singkat di tiga titik gangguan tanpa DG, dengan DG kapasitas 0,6 MVA, dengan DG kapasitas 1,075. Terdapat keadaan koordinasi recloser dan fuse pada tabel 5 tidak berjalan baik ketika jaringan IEEE 34 Node diberikan penambahan *Distributed Generation* berkapasitas 1,075 MVA dititik 836. Posisi titik gangguan diantara recloser dan penambahan DG.

### 3.4 Kurva Koordinasi Recloser Fuse



Gambar 9. Kurva Setting Koordinasi Recloser dan Fuse

Pada Gambar 9 menampilkan kurva setting koordinasi proteksi recloser dan fuse yang tidak berjalan dengan kondisi baik. Arus yang mengalir pada fuse lebih besar dibandingkan arus yang masuk pada recloser. Besar arus pada fuse ketika terjadi hubung singkat sebesar 264 A, sehingga waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pemutusan sebesar 32,2 ms. Arus tersebut telah menyentuh grafik *minimum melting* dari fuse. Dengan demikian, adanya penambahan DG pada titik 836 dengan kapasitas 1,075 MVA mempengaruhi koordinasi yang telah dirancang dengan baik.

## 4.KESIMPULAN

Penambahan DG sangat mempengaruhi koordinasi proteksi recloser dan fuse. Posisi serta kapasitas DG mengakibatkan arus yang masuk pada kedua proteksi berbeda sehingga menyebabkan koordinasi tidak berjalan baik. Hal ini diperlihatkan ketika DG 1,075 MVA ditempatkan setelah recloser dan titik gangguan hubung singkat. Arus yang masuk pada proteksi recloser dan fuse jauh berbeda. Kondisi seperti itu mengharuskan setting fuse dan recloser diganti. Maka dari itu, kondisi yang aman untuk penambahan DG tanpa adanya perubahan nilai setting recloser dan fuse adalah titik 806 dengan kapasitas 0,6 MV, titik 806 dengan kapasitas 1,075 MVA, titik 836 dengan kapasitas 0,6 MVA. Dilihat dari hasil penelitian, DG akan baik ketika penempatan sebelum koordinasi proteksi atau setelah koordinasi proteksi dengan kapasitas yang tidak terlalu besar atau dalam arti kapasitas DG harus disesuaikan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Politeknik Negeri Bandung atas dukungan bantuan dana Tugas Akhir dan terlibat dalam Skema Penelitian Peningkatan Kapasitas Laboratorium, sesuai nomor kontrak No.B/74.8/PL1.R7/PG.00.03/2021.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chandra, L. S., Lukmanul, H., & Herri, G. "Studi Optimasi Penentuan Lokasi Penempatan Distributed Generation pada Sistem Distribusi Tiga Fasa dengan Metode Binary Linear Programming (BLP). ELECTRICIAN–Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro, 11(1), pp. 9-20. 2017.
- [2] M. A Sanjaya. "Analisis Pengaruh Interkoneksi Distributed Generation (DG) TERHADAP Profil Tegangan dan Rugi-rugi Daya dalam Sistem Distribusi pada PT PLN (PERSERO) Kota Baru. Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional Malang, pp. 1-56. 2017. <http://eprints.itn.ac.id/4187/1/LAPORAN%20pdf>
- [3] M. A. Munandar . "Koordinasi Setting Rele Proteksi Menggunakan Metode Fuzzy Logic Terhadap Penambahann Distributed Generation (DG) Dan Kapasitor Daya Pada Jaringan Distribusi Radial," Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember, pp. 1-75. 2018, <https://repository.unej.ac.id/handle/123456789/8597>
- [4] H. Mohamad. "Analisis Pengaruh Penambahan Distributed Generation (DG) Pada Jaringan Distribusi Radial Terhadap Koordinasi Proteksi." Tugas Akhir 121910201059 Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember, pp. 1-69. 2016. <https://repository.unej.ac.id/handle/123456789/7668>
- [5] R. Prasetya. "Rekomendasi Penempatan Distributed Generation (Dg) Dengan Kapasitas Yang Aman Terhadap Koordinasi Proteksi Yang Sudah Ada,". Diss. Universitas Andalas, 2016.
- [6] Eltamaly, Ali M., et al. "Impact of Distributed Generation (DG) on the Distribution System Network," Annals of the Faculty of Engineering Huedoara 17.1, pp. 165-170. 2019.

- [7] A. J. O. Owuor, J. L. Munda and A. A. Jimoh, "The *ieee 34 node radial test feeder as a simulation testbench for Distributed Generation*," *IEEE Africon '11*, Victoria Falls, Zambia, 2011, pp. 1-6, doi: 10.1109/AFRCON.2011.6072095
- [8] H. B. Funmilayo, J. A. Silva and K. L. Butler-Purry, "Overcurrent Protection for the IEEE 34-Node Radial Test Feeder," in *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 27, no. 2, pp. 459-468, April 2012, doi: 10.1109/TPWRD.2012.2186181
- [9] Aly, M. M., Mahrous, H., & Mahmoud, M. M, "Recloser-fuse coordination of radial distribution systems with different technologies of distributed generatio," In International Conference on Innovative Trends in Computer Engineering (ITCE.) IEEE, pp. 420-425. 2019
- [10] Supriyanto. "Perencanaan Integrasi Unit Pembangkit Tersebar Dengan Jaringan Distribusi Tegangan Menengah Berbasis Mekanisme Koordinasi Proteksi Fuse Recloser,". Tesis. Institut Teknologi Bandung, 2010.
- [11] N. Mwakabuta and A. Sekar, "Comparative Study of the IEEE 34 Node Test Feeder under Practical Simplifications," *2007 39th North American Power Symposium*, Las Cruces, NM, USA, 2007, pp. 484-491, doi: 10.1109/NAPS.2007.4402354.
- [12] Pepermans, G., Driesen, J., Haeseldonckx, D., Belmans, R., & D'haeseleer, W. (2005). Distributed generation: definition, benefits and issues. *Energy policy*, 33(6), 787-798.
- [13] Anthony, Zuriman. (2018). "Mesin Listrik Dasar". Sumatera Barat : ITP Press
- [14] Wildi, Theodore. (2014). "Electrical Machines, Drives, and Power Systems". London : Pearson Education Limited
- [15] Dugan, R. C., and W. H. Kersting. "Induction machine test case for the 34-bus test feeder-description." In *2006 IEEE Power Engineering Society General Meeting*, pp. 4-pp. IEEE, 2006.