

Studi Pemanfaatan Relai Jarak Quadrilateral untuk Proteksi Saluran Distribusi dengan Pembangkit Tersebar

Adrianti, Muhammad Nasir, dan Muhammad Rivaldi
Jurusan Teknik Elektro, Universitas Andalas
Kampus Limau Manih, Padang, Sumatera Barat 25163
e-mail: adrianti@eng.unand.ac.id

Abstrak—Pembangkit tersebar (DG) membawa banyak manfaat akan tetapi DG merubah jaringan distribusi yang awalnya radial dengan satu suplai daya, menjadi sistem dengan banyak suplai. Sehingga besar dan arah arus pada saluran distribusi mengalami perubahan. Akibatnya proteksi berbasis arus lebih yang selama ini menjadi andalan pada saluran distribusi mengalami kemerosotan kemampuan dalam mendeteksi gangguan. Karena itu, relai jarak yang bekerja berbasis nilai impedansi, dicoba diaplikasikan pada saluran distribusi untuk mengatasi permasalahan relai arus lebih tersebut. Akan tetapi, saluran distribusi yang umumnya pendek menyebabkan impedansi saluran menjadi kecil. Sehingga resistansi gangguan akan mendominasi impedansi yang terlihat oleh relai jarak dengan karakteristik mho. Karena itu pada penelitian ini, karakteristik *quadrilateral* menjadi pilihan karena memiliki fasilitas *setting* jangkauan dan *setting* resistansi yang diset terpisah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan deteksi relai jarak *quadrilateral* untuk pengamanan saluran distribusi yang memiliki DG. Penelitian menggunakan metoda simulasi dengan *software Digsilent Powerfactory*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa relai jarak *quadrilateral* mengalami kesalahan dalam mendeteksi gangguan yang melalui resistansi akibat tingginya nilai *Sistem Impedance Ratio* (SIR) dari DG. DG umumnya berkapasitas kecil dan merupakan sumber arus gangguan yang lemah. Kecilnya suplai arus dari DG menyebabkan impedansi yang dilihat oleh relai menjadi besar dan berada jauh diluar zona operasi relai.

Kata kunci: *relai jarak quadrilateral, pembangkit tersebar, proteksi saluran distribusi, resistansi gangguan*

Abstract—Installation of distributed generations (DGs) in distribution network bring benefits for power system operation. However, DGs change the distribution network topologies from radial with one source into multi-sources network, hence magnitude and direction of the current will also change. Consequently, the existing distribution line protection i.e. current based protection, experience performances deterioration. To overcome this problem, distance relays, which work based on calculated impedance is proposed. However, since mho distance relays fail to detect faults through resistance in previous research, quadrilateral characteristic of distance relay is chosen. Quadrilateral distance relays have separate setting for reach and resistance; hence it is expected it will accommodate fault resistance. Therefore, this research aims to identify the performance of quadrilateral distance relay in protecting distribution lines that having DG. The research method is computer simulation where quadrilateral distance relays performance is tested for various faults and system conditions in a test system. The software for the simulation is Digsilent Power factory. The results conclude that the quadrilateral distance relays experienced failures to detect faults in correct zone operation due to a weak source of DG. DG generates less fault current, as consequences, the relays see large impedances.

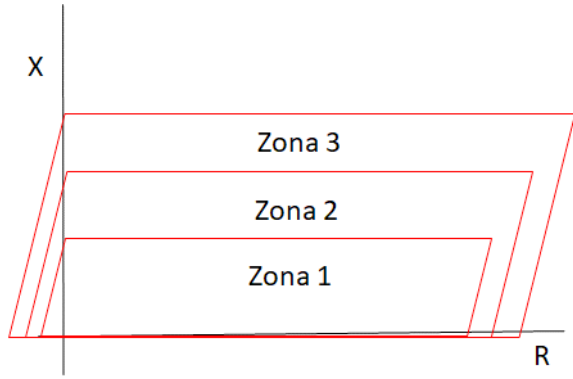
Keywords: *quadrilateral distance relay, distributed generation, distribution line protection, fault resistance*

Copyright © 2020 Jurnal Rekayasa Elektrika. All right reserved

I. PENDAHULUAN

Penggunaan pembangkit tersebar (DG) pada jaringan distribusi telah menjadi tren dalam pemanfaatan energi terbarukan. Penempatan pembangkit di sisi beban ini memiliki sejumlah manfaat yang diantaranya adalah memperkecil rugi-rugi saluran karena daya listrik dikirim dari pembangkit yang lokasinya dekat dengan beban. Akan tetapi, pemasangan DG membawa efek negatif

bagi kerja peralatan proteksi saluran distribusi. Saluran distribusi umumnya dilindungi oleh peralatan proteksi arus lebih. Perubahan arah dan besar arus pada saluran distribusi karena hidup dan matinya DG maupun grid, menyebabkan penyetingan proteksi arus lebih sulit dilakukan [1-3]. Relai dengan kemampuan adaptif dapat menjadi solusi permasalahan ini. Namun kemampuan adaptif membutuhkan perangkat tambahan seperti fasilitas komunikasi [1]. Biaya perangkat tambahan ini tidak



Gambar 2. Diagram R-X relai jarak dengan karakteristik quadrilateral

Variasi jenis gangguan, posisi gangguan dan resistansi gangguan juga ujian pada semua kemungkinan kondisi sistem. Kondisi sistem yang mungkin yaitu grid-DG terhubung, Grid terhubung-DG terputus dan grid terputus-DG terhubung. Keberhasilan relai dalam mendeteksi gangguan dengan tepat pada ketiga kondisi ini merupakan tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini.

Impedansi yang dibaca oleh relai ditunjukkan pada diagram R-X seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 2. Tiga zona digunakan pada penelitian ini. Jika impedansi yang dibaca oleh relai berada dalam kurva di zona tertentu maka relai akan beroperasi sesuai *setting* waktu zona tersebut.

III. RESISTANSI GANGGUAN

Gangguan yang umum terjadi pada jaringan distribusi adalah gangguan melalui resistansi. Penyebab timbulnya resistansi gangguan umumnya adalah busur api (*arc flash*) untuk gangguan antar fasa, dan busur api serta resistansi ke tanah untuk gangguan tanah [12]. Resistansi ke tanah disebabkan oleh resistansi kaki menara dan resistansi objek yang menjadi penyebab gangguan (misalnya tanaman). Besar resistansi gangguan yang mungkin terjadi pada jaringan distribusi sulit untuk diprediksi. Akan tetapi rumus resistansi gangguan akibat busur api yang diturunkan oleh Warrington dapat dijadikan acuan untuk menghitung resistansi busur api yang mungkin terjadi. Rumus Warrington, diberikan pada (1) [5, 12].

$$R_{arc} = \frac{28710}{I^{1,4}} L \quad (1)$$

Dimana L adalah panjang dari busur api dalam satuan meter dan I adalah arus gangguan dalam ampere.

Berdasarkan rumus (1) terlihat bahwa besar arus gangguan berbanding terbalik dengan besar resistansi busur api. Untuk system uji yang digunakan, arus gangguan sangat bervariasi tidak saja berdasarkan jenis gangguan tapi juga kondisi terhubung atau terputusnya DG dan grid. Arus gangguan berkisar dari 236 A saat kondisi grid terputus hingga 5 kA saat kondisi grid dan DG terhubung. Dengan mengambil tipikal arus gangguan 1000 A diperoleh besar resistansi arc 1,8 ohm untuk panjang arc 1 meter. Dengan juga menggunakan (1) dan

nilai arus gangguan terkecil akan diperoleh besar resistansi arc terbesar yaitu 13,68 ohm.

Resistansi ke tanah sangat bervariasi tergantung objek apa yang menjadi penghubung titik gangguan ke tanah. Jika resistansi gangguan sangat besar, maka arus gangguan akan sangat kecil bahkan setara dengan arus kondisi normal. Kondisi seperti ini, sudah berada diluar kemampuan peralatan proteksi biasa dan butuh peralatan proteksi khusus, sehingga berada di luar lingkup penelitian.

Salah satu cara mempertimbangkan resistansi gangguan yang mungkin terjadi adalah dengan menghitung impedansi beban puncak. Dengan asumsi impedansi beban sepenuhnya dianggap resistif, maka akan dapat digunakan persentase beban tersebut dalam pengambilan nilai resistansi gangguan maksimum. Perhitungan impedansi beban akan dibahas pada bagian IV.

IV. SETTING RELAI

Setting relai jarak quadrilateral terbagi atas *setting* jangkauan relai dan *setting* resistansinya. *Setting* jangkauan relai sama dengan *setting* untuk relai dengan karakteristik mho. Pada penelitian ini *setting* jangkauan untuk masing-masing zona menggunakan (2) – (4).

$$Z_{zona 1} = 0.8 \times Z_{L1} \quad (2)$$

$$Z_{zona 2} = Z_{L1} + 0.5 \times Z_{L2} \quad (3)$$

$$Z_{zona 3} = Z_{L1} + Z_{L2} \quad (4)$$

Dimana Z_{L1} adalah impedansi saluran dimana relai berada dan Z_{L2} adalah impedansi saluran berikutnya. Untuk relai R2 dan R3, zona 2 hanya sampai 100% panjang saluran dan tidak memiliki zona 3.

Setting untuk komponen resistansinya dibedakan atas *setting* gangguan fasa dan gangguan tanah. Nilai *setting* resistansi ini didasarkan kepada persentase terhadap impedansi beban puncak [5]. Impedansi beban puncak dihitung menggunakan rumus (5).

$$Z_{load} = \frac{KV_{nom} \times 1000}{\sqrt{3} I_{CT}} \quad (5)$$

Dimana KV_{nom} adalah tegangan nominal saluran dalam kV dan I_{CT} adalah rating arus primer trafo arus yang digunakan pada proteksi jarak tersebut Sebagai *setting* resistansi gangguan tanah diambil nilai 80% dan sebagai *setting* resistansi gangguan fasa 60% [5]. Nilai *setting* ini berlaku bagi semua zona. Impedansi beban puncak sistem uji yang dihitung menggunakan (5) adalah sebesar 96 Ohm. Nilai-nilai *setting* relai jarak quadrilateral yang digunakan pada saluran 1 dan 2 ditunjukkan pada Tabel 2. Nilai *setting* yang diberikan pada Tabel 2 adalah nilai-nilai primer. Untuk aplikasi pada relai, digunakan nilai sisi sekunder yang diperoleh dengan mengalikan nilai primer dengan rasio CT dan dibagi rasio PT. Pada penelitian ini digunakan rasio CT 120:1 dan rasio PT 20000:110. *Setting* Z adalah *setting* jangkauan relai, *setting* R_p adalah *setting* resistansi fasa, R_e adalah *setting* resistansi tanah. Nilai

Tabel 2. Setting relai jarak pada sistem uji

Zona	Jenis Setting	Setting Relai Jarak Quadrilateral (Ohm primer)			
		R1	R2	R3	R4
1	Z	1,42 $\angle 42,24^\circ$	1,42 $\angle 42,24^\circ$	3,39 $\angle 42,24^\circ$	3,39 $\angle 42,24^\circ$
	Rp	76,98	76,98	76,98	76,98
	Re	57,73	57,73	57,73	57,73
2	Z	3,89 $\angle 42,24^\circ$	1,78 $\angle 42,24^\circ$	4,23 $\angle 42,24^\circ$	5,12 $\angle 42,24^\circ$
	Rp	76,98	76,98	76,98	76,98
	Re	57,73	57,73	57,73	57,73
3	Z	6,01 $\angle 42,24^\circ$	-	-	6,01 $\angle 42,24^\circ$
	Rp	76,98	-	-	76,98
	Re	57,73	-	-	57,73

Faktor Kompensasi residual, $K = 0,0145 \angle 0,015^\circ$
 Setting waktu: zona 1 = 0 detik, zona 2 = 0,4 detik, zona 3 = 1,2 detik.

Rp dan Re untuk setiap zona dibuat sama. *Setting* waktu dibuat sama pada semua relai seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Karena *setting* resistansi gangguan tanah adalah 57,73 Ohm, maka resistansi gangguan yang disimulasikan maksimum 50 Ohm. Nilai resistansi yang diujikan yaitu 1, 10 dan 50 Ohm.

V. HASIL DAN ANALISA

Dari simulasi diperoleh bahwa relai jarak quadrilateral dapat mendeteksi dengan baik semua jenis gangguan hubung singkat dengan resistansi gangguan nol, untuk ketiga jenis kondisi sistem (grid-DG terhubung, grid terputus-DG terhubung, Grid terhubung-DG terputus). Akan tetapi permasalahan muncul jika gangguan terjadi melalui resistansi gangguan. Detail hasil simulasi untuk gangguan melalui resistansi gangguan akan dibahas pada sub bab berikut.

A. Kondisi Grid dan DG terhubung

Hasil simulasi untuk kondisi grid dan DG terhubung menunjukkan bahwa gangguan tiga fasa dapat dideteksi oleh semua relai jarak quadrilateral, baik saat resistansi gangguan kecil maupun besar (disimulasikan sampai 100 Ohm). Hal yang sama juga diperoleh untuk gangguan dua fasa ke tanah. Untuk gangguan satu fasa ke tanah dan gangguan antar fasa, relai-relai menunjukkan kemampuan deteksi yang sama, yaitu relai-relai yang membelakangi grid (R1 dan R3) beroperasi dengan benar sedangkan, relai-relai yang membelakangi DG (R2 dan R4) mengalami salah zona deteksi untuk resistansi gangguan kecil (1 ohm) dan gagal mendeteksi gangguan untuk resistansi yang lebih besar. Saat resistansi diperbesar menjadi 50 Ohm semua relai jarak (termasuk R1 dan R3) gagal mendeteksi gangguan.

B. Kondisi Grid Terhubung dan DG Terputus

Untuk kondisi grid terhubung tetapi DG terputus, arus gangguan hanya disuplai dari grid, tidak arus dari arah hilir saluran, sehingga R2 dan R4 tidak akan mendeteksi adanya gangguan. Untuk gangguan tiga fasa dan gangguan dua fasa ke tanah, relai R1 dan R3 bekerja dengan baik untuk resistansi gangguan yang besar sekalipun (100 Ohm). Untuk gangguan antar fasa dan satu fasa ke tanah, relai-relai bekerja dengan benar untuk resistansi gangguan sampai 10 Ohm tetapi gagal mendeteksi untuk resistansi gangguan 50 Ohm.

C. Kondisi Grid Terputus dan DG Terhubung

Kondisi grid terputus, dimana sistem hanya disuplai oleh DG, menyebabkan gangguan hanya akan terlihat oleh relai yang membelakangi DG (R2 dan R4). R1 dan R3 tidak akan dapat mendeteksi gangguan. Hasil simulasi yang diperoleh masih konsisten dengan dua kondisi sebelumnya, yaitu relai-relai bekerja dengan baik untuk gangguan tiga fasa dan gangguan dua fasa ke tanah walaupun melalui resistansi yang besar. Untuk gangguan satu fasa ke tanah, R4 bekerja dengan baik saat gangguan melalui resistansi 10 Ohm untuk gangguan pada saluran 2 dan saluran 1, tetapi R2 salah mendeteksi zona operasi untuk tipe gangguan yang sama pada saluran 1. Kedua relai salah mendeteksi gangguan antar fasa dan satu fasa ke tanah saat resistansi gangguan 50 Ohm.

D. Analisa

Pendeteksian oleh relai R1, R2, R3 dan R4 untuk berbagai jenis gangguan dan resistansi gangguan yang disimulasikan ditunjukkan pada Tabel 3. Dari Tabel 3 terlihat bahwa saat terjadi gangguan tiga fasa dan dua fasa ke tanah melalui resistansi gangguan, semua relai dapat mendeteksi gangguan dengan baik walaupun melalui resistansi yang besar. Hal ini disebabkan karena gangguan tiga fasa dan dua fasa ke tanah memiliki arus yang lebih besar dibandingkan gangguan antar fasa dan satu fasa ke tanah. Karena dengan arus gangguan yang besar, maka impedansi yang terlihat relai akan lebih kecil. Untuk gangguan antar fasa dan satu fasa ke tanah, relai R2 dan R4 mulai mengalami salah mendeteksi pada resistansi gangguan yang jauh lebih rendah dari pada saat R1 dan R3 mulai mengalami salah deteksi. Hal ini disebabkan karena R2 dan R4 mendeteksi arus gangguan yang disuplai dari DG yang nilainya lebih kecil dari pada arus gangguan yang disuplai dari grid. Akibatnya impedansi yang terbaca oleh R2 dan R4 menjadi lebih besar dan berada jauh di luar zona operasi relai.

Pada Tabel 3, terdapat isian yang diberi tanda ?, yang artinya deteksi relai dapat benar atau salah tergantung pada kondisi sistem. Terdapat perbedaan kinerja relai saat kondisi grid-DG terhubung dengan kondisi grid terputus-DG terhubung, untuk gangguan satu fasa ke tanah dan antar fasa. Pada semua sel yang berisi tanda tanya hasil

Tabel 3. Deteksi gangguan oleh relai jarak quadrilateral pada sistem uji

Jenis gangguan	Resistansi gangguan (Ω)	Deteksi oleh relai			
		R1	R2	R3	R4
Lokasi gangguan: saluran 1, 80% panjang saluran dari bus 2					
Satu fasa ke tanah	0	✓	✓	✓	✓
	1	✓	?	✓	?
	10	✓	X	✓	?
	50	X	X	X	X
Antar fasa	0	✓	✓	✓	✓
	1	✓	?	✓	?
	10	✓	?	✓	?
	50	X	X	X	X
Dua fasa ke tanah	≤ 50	✓	✓	✓	✓
Tiga fasa	≤ 50	✓	✓	✓	✓
Lokasi gangguan: saluran 2, 80% panjang saluran dari bus 2					
Satu fasa ke tanah	0	✓	✓	✓	✓
	1	✓	✓	✓	✓
	10	✓	✓	✓	X
	50	X	X	X	X
Antar fasa	0	✓	✓	✓	✓
	1	✓	✓	✓	?
	10	✓	✓	✓	?
	50	X	X	X	X
Dua fasa ke tanah	≤ 50	✓	✓	✓	✓
Tiga fasa	≤ 50	✓	✓	✓	✓

✓ = terdeteksi dengan benar

X = salah deteksi

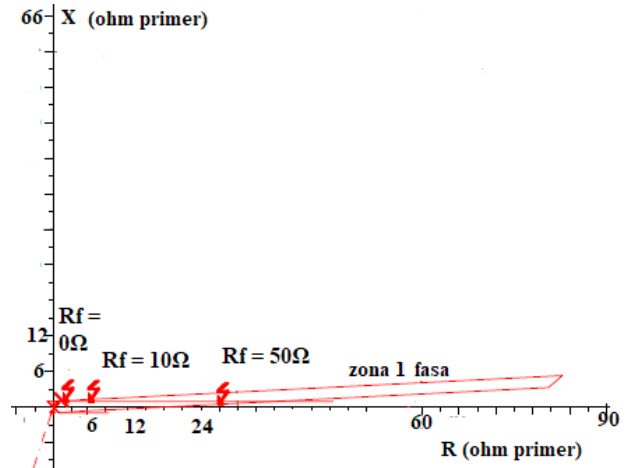
? = relai mendeteksi dengan baik saat sistem dalam kondisi grid terputus-DG terhubung dan salah mendeteksi saat kondisi grid-DG terhubung

simulasinya adalah relai mendeteksi dengan baik saat sistem dalam kondisi grid terputus-DG terhubung dan salah mendeteksi saat kondisi grid-DG terhubung ke sistem. Dari simulasi diperoleh bahwa arus gangguan yang dilihat oleh relai R2 dan R4 saat kondisi grid terputus sedikit lebih besar dibandingkan saat kondisi grid-DG terhubung.

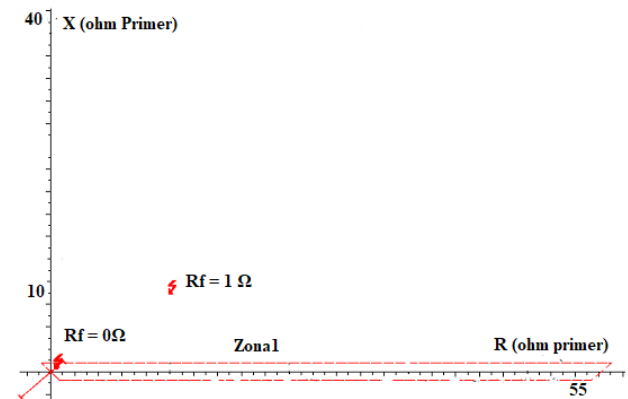
Jika berbagai impedansi gangguan yang dideteksi oleh relai untuk berbagai resistansi gangguan, diplot pada satu diagram R-X, akan diperoleh hasil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3, Gambar 4, dan Gambar 5. Simbol petir berwarna merah menunjukkan besar impedansi (r dan x) yang terlihat oleh relai. Nilai ohm yang ditulis di dekat simbol petir tersebut merupakan besar resistansi gangguan yang diberikan untuk simulasi tersebut. Pada Gambar 3 ditunjukkan impedansi yang terlihat oleh relai R1 saat gangguan antar fasa pada saluran 1 yang lokasinya tepat dibatas *setting* jangkauan relai R1. Resistansi gangguan (R_f) yang diberikan yaitu 0, 10 dan 50 Ohm. Terlihat bahwa kenaikan resistansi gangguan menyebabkan impedansi yang terlihat relai juga menaik searah dengan sumbu R seperti yang diharapkan. Dari Gambar 3 tersebut terlihat bahwa karakteristik quadrilateral benar mampu mengantisipasi gangguan yang melalui resistansi

gangguan.

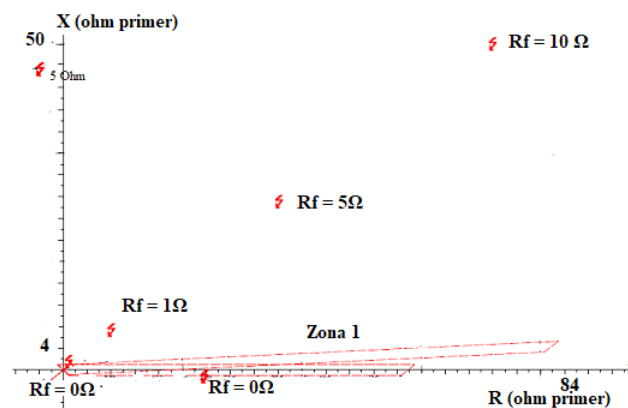
Pada Gambar 4 diperlihatkan impedansi yang dilihat relai R2 saat gangguan satu fasa ke tanah pada saluran 1 dengan kondisi grid-DG terhubung. Pada gambar tersebut hanya resistansi gangguan 0 dan 1 Ohm saja yang terlihat, resistansi gangguan yang lebih besar berada terlalu jauh untuk dapat diperlihatkan pada diagram. Gambar 5 menunjukkan impedansi yang dilihat relai R2 saat



Gambar 3. Diagram R-X relai R1 untuk gangguan antar fasa dengan resistansi gangguan 0, 10 dan 50 Ohm pada saluran 1



Gambar 4. Diagram R-X relai R2 untuk gangguan 1 fasa ke tanah dengan resistansi gangguan 0 dan 1 Ohm pada saluran 1



Gambar 5. Diagram R-X relai R2 untuk gangguan antar fasa dengan resistansi gangguan 0, 1, 5 dan 10 Ohm pada saluran 1

gangguan antar fasa dengan kondisi dan lokasi yang sama dengan Gambar 4. Terlihat impedansi yang terbaca oleh relai saat resistansi gangguan 0, 1, 5, dan 10 Ohm. Dari kedua gambar tersebut dapat dilihat bahwa saat resistansi gangguan meningkat, impedansi yang terbaca oleh R2 tidak hanya meningkat nilai nya searah sumbu R tapi juga kearah sumbu X. Ini menunjukkan bahwa impedansi yang terbaca oleh relai tidak lagi mencerminkan impedansi saluran ke titik gangguan ditambah resistansi gangguan. Relai membaca impedansi yang salah karena arus yang terbaca oleh relai menjadi sangat kecil akibat pemberian resistansi gangguan tersebut.

Besar arus yang dilihat oleh relai R1 dan R2 untuk gangguan yang berlokasi pada saluran 1 dengan jarak 80% panjang saluran diukur dari bus 2 ditunjukkan pada Tabel 4. Hasil yang ditunjukkan pada Tabel 4 diperoleh dari simulasi untuk kondisi grid-DG terhubung. R1 melihat arus gangguan yang lebih besar karena disuplai dari sumber yang kuat yaitu grid, sedangkan R2 melihat arus gangguan yang lebih kecil karena disuplai dari sumber yang lemah yaitu DG. Besar resistansi gangguan tentu saja berpengaruh kepada besar arus gangguan yang terjadi seperti ditunjukkan Tabel 4. Saat resistansi gangguan 50 Ohm, arus gangguan yang dilihat oleh relai R1 masih beberapa puluh kali lebih besar dari pada kondisi normal, tetapi arus gangguan yang terlihat oleh relai R2 sama atau lebih kecil dari arus kondisi normal. Arus yang kecil ini akan menyebabkan impedansi yang terbaca oleh relai R2 menjadi besar.

Kondisi dimana R2 dan R4 mengalami salah deteksi karena sumber arus yang lemah dalam terminologi relai jarak sering disebut rasio impedansi sumber terhadap saluran (Z_s/Z_L) atau disebut juga SIR (Source Impedance Ratio) [5]. DG sebagai sumber arus gangguan yang dilihat oleh R2 dan R4 memiliki nilai SIR yang tinggi. Umumnya permasalahan ini timbul jika pembangkit/generator tidak cukup kuat (memiliki Z_s yang tinggi).

Berdasarkan temuan diatas, permasalahan aplikasi relai jarak pada saluran distribusi yang memiliki DG bukan saja disebabkan oleh pendeknya saluran, tetapi juga lemahnya sumber (dalam hal ini DG). Sehingga solusi yang

diajukan yaitu memanfaatkan relai dengan karakteristik quadrilateral belum berhasil mengatasi kegagalan relai dalam mendeteksi gangguan yang melalui resistansi.

Karakteristik quadrilateral merupakan gabungan tiga komponen *setting* yaitu reaktansi, resistansi dan arah (*directional*). Pemisahan *setting* komponen resistansi dan reaktansi memungkinkan *setting* resistansi dibuat lebih besar dari pada *setting* berdasarkan panjang saluran (reaktansi), sehingga jangkauan relai untuk gangguan melalui resistansi menjadi lebih baik. Penambahan nilai *setting* resistansi tersebut berhasil menaikkan kemampuan deteksi relai jika arus gangguan disuplai dari sumber yang kuat (grid), namun tidak berhasil meningkatkan kemampuan relai dalam mendeteksi gangguan melalui resistansi jika arus gangguan berasal dari sumber yang lemah. Selain itu, mengingat arus gangguan disuplai dari kedua sisi relai (grid dan DG), dibutuhkan *setting* arah agar relai hanya bekerja untuk gangguan pada saluran yang berada didepannya saja. *Setting* arah akan memudahkan penyusunan koordinasi antar relai namun juga memiliki efek negatif. Efek negatif dari *setting* arah yaitu menghalangi kontribusi arus gangguan dari arah yang tidak sesuai *setting* namun disuplai dari sumber yang kuat bagi pendeteksian gangguan.

Jika dibandingkan hasil simulasi gangguan di saluran 1 dengan gangguan di saluran 2, ketidakberhasilan relai R2 dan R4 dalam mendeteksi gangguan melalui resistansi semakin buruk untuk gangguan di saluran 1. Hal ini karena saluran 1 semakin menjauhi DG, sehingga arus gangguan menjadi semakin kecil dibandingkan dengan arus saat gangguan di saluran 2.

VI. KESIMPULAN

Studi penggunaan relai jarak quadrilateral untuk proteksi pada saluran distribusi yang memiliki DG memberikan kesimpulan sebagai berikut. Gangguan yang menghasilkan arus besar (gangguan tiga fasa dan dua fasa ke tanah) menyebabkan relai dapat mendeteksi gangguan sampai nilai resistansi gangguan yang lebih besar dari pada resistansi saat gangguan yang menghasilkan arus gangguan kecil (gangguan satu fasa ke tanah dan dua fasa). Karakteristik quadrilateral memperbesar kemampuan relai mendeteksi resistansi gangguan tapi dengan syarat sumber arus yang berada di belakang relai cukup kuat. DG merupakan pembangkit berskala kecil dan merupakan sumber yang lemah. Akibatnya relai yang mendeteksi arus gangguan yang disuplai dari DG mengalami kegagalan dalam mendeteksi gangguan melalui resistansi.

Performansi yang buruk pada relai-relai yang melihat arus gangguan berasal dari DG disebabkan DG sehingga memiliki SIR yang tinggi, sehingga impedansi yang terlihat relai tidak lagi sesuai dengan impedansi saluran ke titik gangguan ditambah resistansi gangguan. Impedansi yang dibaca relai akan menjadi besar dan berada di luar zona operasi yang seharusnya.

Penelitian ini akan dilanjutkan dengan melakukan pengembangan terhadap relai jarak sehingga kelemahan

Tabel 4. Arus yang dilihat relai jarak untuk kondisi Grid dan DG terhubung

Jenis gangguan	Resistansi gangguan (Ω)	Arus terdeteksi relai (A primer)	
		R1	R2
Satu fasa ke tanah	0	3644	167
	10	975	45
	50	396	22
Antar fasa	0	4800	277
	10	1559	87
	50	234	3
Normal (tidak ada gangguan)	-	12	22

Posisi gangguan: 80% panjang saluran 1 dari bus 2

yang dimiliki untuk memproteksi saluran distribusi yang memiliki DG, dapat diatasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Universitas Andalas atas pembiayaan penelitian ini dengan Skim Riset Dasar (RD) nomor T/52/UN.16.17/PT.01.03/RD-Inovasi Sains/2019 tahun anggaran 2019.

REFERENSI

- [1] F. Coffele, C. Booth, and A. Dyško, "An Adaptive Overcurrent Protection Scheme for Distribution Networks," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 30, pp. 561-568, 2015.
- [2] P. Gupta, R. S. Bhatia, and D. K. Jain, "Adaptive protection schemes for the microgrid in a Smart Grid scenario: Technical challenges," in *Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT Asia)*, 2013 IEEE, 2013, pp. 1-5.
- [3] P. Mahat, Z. Chen, B. Bak-Jensen, and C. L. Bak, "A Simple Adaptive Overcurrent Protection of Distribution Systems With Distributed Generation," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 2, pp. 428-437, Sept. 2011.
- [4] A. Adrianti, A. R. Sijabat, and M. Nasir, "Analyzing Performance of Distance Relay in Protecting Distribution Lines with Distributed Generation," in *3rd International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICECOS)*, Batam, Indonesia, 2019.
- [5] Alstom-Grid, *Network Protection & Automation Guide*. Alstom, 2011, Accessed: Jun. 25, 2014 Available: <http://www.alstom.com/grid/products-and-services/Substation-automation-system/protection-relays/Network-Protection-Automation-Guide-NEW-2011-Edition/>
- [6] K. Pandakov, H. K. Høidalen and J. I. Marvik, "Implementation of distance relaying in distribution network with distributed generation," in *13th International Conference on Development in Power System Protection 2016 (DPSP)*, Edinburgh, pp. 1-7, 2016.
- [7] V. C. Nikolaidis, C. Arsenopoulos, A. S. Safigianni, and C. D. Vournas, "A distance based protection scheme for distribution systems with distributed generators," in *2016 Power Systems Computation Conference (PSCC)*, pp. 1-7, 2016.
- [8] V. C. Nikolaidis, A. M. Tsimtsios, and A. S. Safigianni, "Investigating Particularities of Infeed and Fault Resistance Effect on Distance Relays Protecting Radial Distribution Feeders With DG," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 11301-11312, 2018.
- [9] A. Heidari, V. G. Agelidis, H. Zayandehroodi, J. Pou, and J. Aghaei, "On Exploring Potential Reliability Gains Under Islanding Operation of Distributed Generation," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 7, pp. 2166-2174, 2016.
- [10] M. H. Bollen and F. Hassan, *Integration of distributed generation in the power system* vol. 80: John Wiley & Sons, 2011.
- [11] DIgSILENT_Powerfactory, "Technical Reference Documentation, Protection device: Areva P44x, Model Version: V14.1," DIgSILENT GmbH, Gomaringen, July 2017.
- [12] A. R. v. C. Warrington, *Protective relays, their theory and practice* vol. 1. London: Chapman and Hall, 1962.