

Analisis Skema Proteksi Arus Lebih *Communication-Assisted* pada Sistem Distribusi Radial-Tie Switch Jaring Menengah 20 kV dengan *Distributed Generation* (DG) di PT. PLN Nusa Penida Bali

Putri Trisna Idha Ayuningtias, Margo Pujiantara¹⁾, Soedibyo²⁾

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: putritrisna23@gmail.com, margo@ee.its.ac.id¹⁾, soedibyo@ee.its.ac.id²⁾

Abstrak—Sistem distribusi PT. PLN Nusa Penida Bali merupakan sistem dengan jumlah *section* yang panjang sehingga untuk mengkoordinasikan peralatan proteksinya diperlukan *setting* rele yang tepat. Dengan menggunakan sistem proteksi konvensional, *setting* waktu rele pada sisi hulu akan semakin besar sehingga dapat melebihi waktu 1 detik. Hal ini kurang baik karena waktu kerja rele dan pemutusan *Circuit Breaker* (CB) akan semakin lama. Efeknya yaitu akan terjadi *undervoltage* pada sistem dengan waktu yang lama pula sehingga besar kemungkinan akan mengakibatkan kegagalan pembangkit dimana generator utama akan mati ketika terjadi gangguan hubung singkat yang terlalu lama dan sistem pengamanan tidak mampu melokalisir gangguan dengan waktu yang cepat. Pada Tugas Akhir ini, dilakukan penelitian mengenai Analisis Skema Proteksi Arus Lebih *Communication-Assisted* pada Sistem Distribusi Radial-Tie Switch Jaring Menengah 20 kV dengan *Distributed Generation* (DG) di PT. PLN Nusa Penida Bali. Pada skema proteksi arus lebih *communication-assisted*, *setting* waktu rele proteksi arus lebih yaitu 0,1 detik. Rele proteksi arus lebih dikoordinasikan dengan bantuan media komunikasi sebagai media untuk mengirimkan informasi *logic* berupa *blocking signal*. Ketika rele proteksi merasakan gangguan pada zona primernya, maka rele tersebut akan mengirimkan *blocking signal* pada rele lainnya. *Blocking signal* tersebut sekaligus memberi informasi kepada rele lainnya untuk *trip* sesuai *setting time delay* ketika CB pada zona primer gagal mengamankan. Hal ini membuat sistem proteksi lebih handal dan bekerja lebih cepat.

Kata Kunci—*Communication-Assisted*, *blocking signal*, rele proteksi arus lebih

I. PENDAHULUAN

PT. PLN NUSA PENIDA BALI merupakan perusahaan listrik Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang berperan penting dalam penyaluran energi listrik di kawasan Nusa Penida Bali. Jaringan distribusi PT. PLN Nusa Penida Bali terdiri dari empat *feeder* dengan tiga buah Generator Diesel yang terpasang paralel sebagai sumber energi utama. PT. PLN Nusa Penida Bali menggunakan tiga buah Generator Diesel berkapasitas 1600 kW pada setiap generator. Ketika terjadi gangguan hubung singkat, generator dengan kapasitas yang relatif kecil (jika dibandingkan dengan Grid) akan mengalami

undervoltage. Jika sistem pengamanan tidak didesain dengan baik maka akan mengakibatkan kegagalan pembangkit dimana generator akan mati ketika terjadi gangguan hubung singkat yang terlalu lama dan sistem pengamanan tidak mampu melokalisir gangguan dengan waktu yang cepat [1]

PT. PLN Nusa Penida Bali memiliki *supply* cadangan yaitu *Distributed Generation* (DG) berupa sembilan *wind turbine* dan dua *photovoltaic* yang terletak di dekat Feeder Tanglad. Untuk memenuhi kebutuhan beban, membuat sistem distribusi tenaga listrik harus terintegrasi dengan *Distributed Generation* (DG). Integrasi *Distributed Generation* (DG) pada sistem juga menimbulkan dampak yang kurang baik yaitu akan mengakibatkan terjadi level gangguan hubung singkat pada sistem semakin tinggi yang berdampak pada kesalahan koordinasi peralatan proteksi. Hal ini tentu akan mengakibatkan kerusakan pada peralatan serta energi listrik tidak dapat tersalurkan ke beban ketika terjadi gangguan.

Untuk kepentingan kontinuitas pelayanan daya listrik serta meminimalisir biaya perbaikan akibat kerusakan peralatan, tentu dibutuhkan strategi koordinasi proteksi yang tepat untuk mengamankan sistem tenaga listrik tersebut bila terjadi gangguan. Oleh karena itu, sistem proteksi perlu didesain secara baik agar diperoleh sistem proteksi yang efektif, cepat dan efisien. Pada Tugas Akhir ini, dilakukan penelitian mengenai Analisis Skema Proteksi Arus Lebih *Communication-Assisted* pada Sistem Distribusi Radial-Tie Switch Jaring Menengah 20 kV dengan *Distributed Generation* (DG) di PT. PLN Nusa Penida Bali.

II. PROTEKSI SISTEM TENAGA LISTRIK DAN SKEMA PROTEKSI *COMMUNICATION-ASSISTED*

A. Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Kehandalan suatu sistem tenaga listrik antara lain ditentukan oleh frekuensi pemadaman yang terjadi dalam sistem tersebut. Semakin tinggi frekuensi pemadaman dan semakin lama waktu pemadaman, maka semakin rendah tingkat kehandalan sistem tersebut. Pemadaman yang terjadi pada sistem tenaga listrik biasanya disebabkan oleh gangguan, sehingga untuk mengatasi

gangguan dan meningkatkan kehandalan sistem diperlukan sebuah mekanisme yang dapat menghindari frekuensi pemadaman yang terlalu sering dalam jangka waktu yang lama. Mekanisme ini dalam sistem kelistrikan dikenal dengan istilah sistem proteksi atau pengaman sistem.

Sistem proteksi merupakan komponen pada sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk mengamankan peralatan dari kerusakan akibat arus gangguan. Selain itu sistem proteksi juga berfungsi untuk melokalisir dampak gangguan sehingga peralatan pada daerah lain tetap dapat beroperasi. Sistem proteksi yang terpasang harus diatur sedemikian rupa agar dapat memutus arus gangguan yang muncul dengan cepat dan selektif ketika terjadi gangguan.

Sistem proteksi terdiri dari *Current Transformer* (CT), *Voltage Transformer* (PT), rele proteksi dan *Circuit Breaker* (CB). CT dan PT sebagai transduser dimana sebuah alat yang berfungsi mengubah satu bentuk energi menjadi bentuk energi lainnya untuk berbagai tujuan termasuk perubahan ukuran. CT berfungsi untuk merubah nilai arus ke level yang lebih rendah yang nantinya arus tersebut akan dibaca oleh rele. Begitu pula PT, mengubah nilai tegangan ke level yang lebih rendah agar dapat dibaca oleh rele. Rele proteksi sebagai perangkat yang berfungsi untuk mengontrol CB dimana rele dapat disetting untuk menentukan kapan CB akan bekerja. Ketika rele membaca arus dimana $I > I_{setting}$ maka rele akan menganggap ada arus gangguan dan rele bekerja. CB sebagai perangkat yang berfungsi untuk mengeksekusi/memutus aliran daya ketika rele mendeteksi adanya gangguan.

B. Setting Rele Arus Lebih Waktu Inverse

Batas minimal untuk penyetelan rele arus lebih harus lebih besar dari beban maksimum, tujuannya supaya rele tidak bekerja saat kondisi beban maksimum. Menurut standar british BS 142 batas dari nilai settingnya adalah 1,05 - 1,3 I_{fl} . Pada rele arus lebih waktu *invers* memiliki setelan *pickup* dan setelan *time dial*. Besar nilai *pickup* ditentukan dengan pemilihan tap. Adapun untuk mencari besar nilai dari tap dapat menggunakan persamaan berikut :

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT\ primary} \tag{1}$$

Dimana I_{set} merupakan arus *pickup* dalam *ampere*.

Pada setelan *time dial* digunakan untuk menentukan waktu operasi dari rele. Untuk menentukan *time dial* dari masing-masing kurva karakteristik *invers* rele arus lebih dapat menggunakan persamaan berikut [2] :

$$t = T \times \left(\frac{\beta}{(M^{\alpha} - 1)} + L \right) \tag{2}$$

dimana :

- t = waktu operasi (detik)
- T = *time dial*
- M = I / I_{set}
- I = nilai arus (ampere)
- I_{set} = arus *pickup* (ampere)
- β = koefisien *invers* 1 (lihat tabel 2.1)
- α = koefisien *invers* 2 (lihat tabel 2.2)
- L = konstanta untuk ANSI/IEEE

Berikut merupakan tabel koefisien *invers time dial* berdasarkan referensi^[2].

Table 1.
Koefisien Invers Time Dial

Tipe Kurva	Koefisien		
	β	α	L
<i>Standard Inverse</i>	0,14	0,02	0
<i>Very Inverse</i>	13,5	1	0
<i>Extremely Inverse</i>	80	2	0

C. Setting Rele Arus Lebih Instant

Rele ini akan bekerja secara seketika jika ada arus lebih yang mengalir melebihi dari *setting* yang telah dilakukan. Dalam menentukan setelan *pickup instant* ini menggunakan besarnya arus hubung singkat 2 fasa pada pembangkitan minimum. Sehingga ditetapkan :

$$I_{set} \leq 0,8 I_{scmin} \tag{3}$$

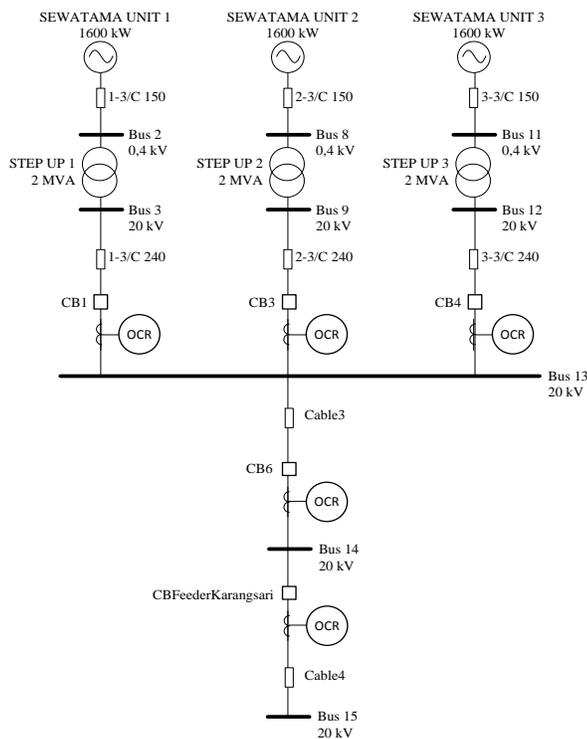
D. Skema Proteksi Communication-Assisted

Skema proteksi *Communication-Assisted* merupakan skema perlindungan yang diterapkan dalam sistem saluran transmisi atau distribusi dimana rele-rele proteksi yang terletak di terminal *line* saling berkomunikasi dengan cara mengirimkan data *logic* atau sinyal informasi ketika terjadi gangguan. Jika gangguan berada di dalam zona yang terlindungi (*internal zone*) maka peralatan proteksi akan *trip* dengan waktu yang singkat (*high-speed tripping*), namun jika gangguan berada di luar zona yang terlindungi (*external zone*) maka peralatan proteksi akan dicegah untuk *trip* (*tripping is blocked*) [3]. Sinyal informasi ini dikirimkan melalui media komunikasi misalnya dengan menggunakan *Power Line Carrier*, *Leased Phone Lines*, *Microwave Radio* dan *Fiber Optic* [4] Skema proteksi *Communication-Assisted* telah diaplikasikan pada sistem transmisi maupun distribusi selama beberapa dekade ini. Aplikasi skema proteksi *Communication-Assisted* direkomendasikan tergantung dari jenis saluran atau media komunikasi yang digunakan [5]

Cara kerja proteksi *Communication-Assisted* menggunakan prinsip komunikasi antar *trip unit* sehingga antara *trip unit* satu dengan *trip unit* lainnya dapat mengirimkan sinyal maupun menerima sinyal. Sinyal tersebut digunakan untuk mengetahui daerah kerja dari CB untuk *trip* sehingga pengamanan dari gangguan lebih cepat dan efektif [6]

Untuk lebih mudah memahami skema proteksi *Communication-Assisted* dijelaskan seperti pada Gambar 1. Diasumsikan bahwa terjadi gangguan pada titik Fault 3, maka baik Relay A, Relay B, Relay C merasakan gangguan (*sense*). Relay C memerintahkan CB C untuk *trip* tanpa *delay*. Saat waktu yang bersamaan, Relay C mengirim sinyal *blocking* (*blocking signal*) kepada Relay B dan Relay A sebagai tanda agar Relay B dan Relay A mengerti bahwa gangguan berada pada zona proteksi Relay C yaitu ZONE 3, sehingga Relay B dan Relay A tidak memerintahkan CB B dan CB A untuk *trip*. Sinyal *blocking* tersebut sekaligus memberi informasi kepada Relay B dan Relay A untuk *trip* sesuai *setting time delay* ketika Relay C gagal mengamankan. Dengan kata lain, Relay B dan Relay A bekerja sebagai *back up* dari Relay C. Waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan sinyal *blocking* antar rele sebelum *breaker trip* merupakan hal yang sangat penting untuk *setting* rele yang tepat. Total waktu *delay* untuk sinyal yang dikirimkan dengan panjang lebih dari 10 km, 100 Mb/s kabel fiber adalah 15-40 ms [7]. Waktu minimal yang dibutuhkan CB

pada Feeder Karangsari yaitu rele R-CBKarang dan rele R-CBBatumulapan.

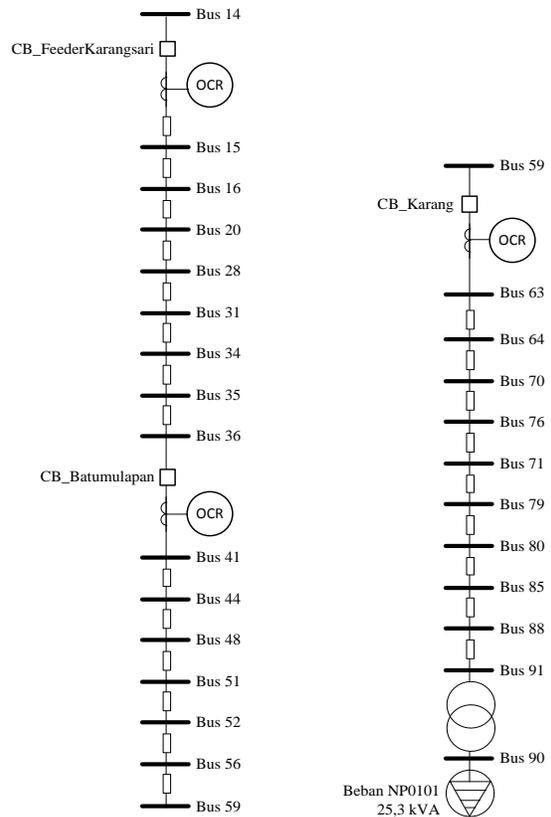


Gambar 2. Koordinasi Rele Tipikal A(1)

Table 5
Hasil Resetting pada Tipikal A

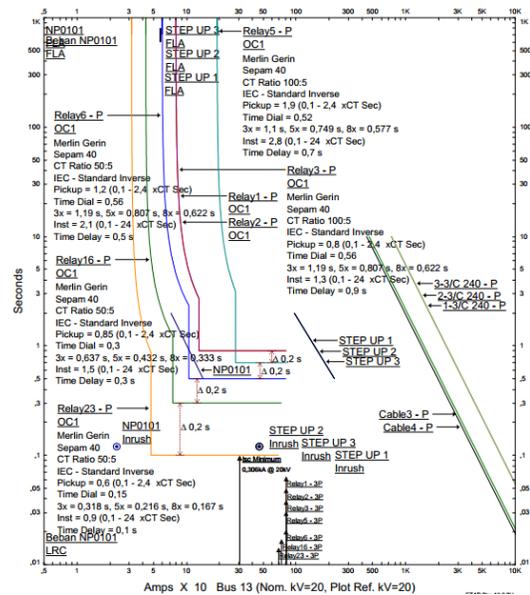
No.	ID	Low Set (Standard Inverse)		High Set (Instantaneous)	
		Tap	T1	Tap	T2
1	R23	0,6 In	0,15 s	0,9 In	0,1 s
2	R16	0,85 In	0,3 s	1,5 In	0,3 s
3	R6	1,2 In	0,41 s	2,1 In	0,5 s
4	R5	1,9 In	0,52 s	2,8 In	0,7 s
5	R1,2,3	0,8 In	0,56 s	1,3 In	0,9 s

Ket : T1-Time Dial dan T2-Time Delay



Gambar 3. Koordinasi Rele Tipikal A(2)

Dari hasil analisa perhitungan yang dilakukan diperoleh hasil *resetting* rele Tipikal A yaitu dapat dilihat pada Tabel 5. Setelah itu, dilakukan simulasi pada *Software* ETAP 12.6 dengan menginputkan data hasil *resetting* pada Tipikal A dan hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.

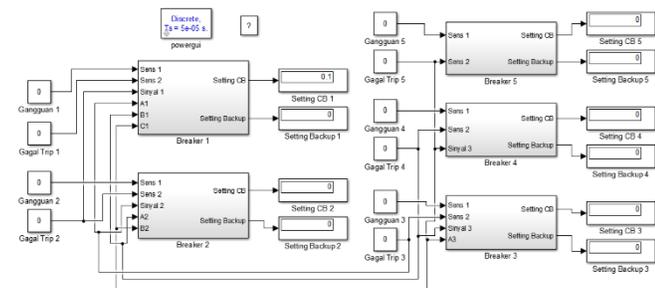


Gambar 4. Hasil Plot Resetting Rele Gangguan Fasa Tipikal A

Gambar 4 merupakan hasil *plot* dari *setting* rele yang diperoleh dari analisa perhitungan yang telah dilakukan. Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa ada lima kurva yang merepresentasikan lima rele yang dikoordinasikan dan *plot*

sesuai dengan hasil analisa perhitungan. Rele yang dikoordinasikan yaitu terdiri dari rele R-CBKarang [R23], rele R-CBBatumulapan [R16], rele R-CBFeederKarangsari [R6], rele R-CB6 [R5], dan rele R-CB1,3,4 [R1,2,3]. Pada tanda bernomor 6 menunjukkan bahwa apabila terjadi hubung singkat minimum pada Bus 91 sebesar 0,306 kA, maka rele R23 akan bekerja terlebih dahulu pada waktu 0,1 detik. Ketika rele R23 gagal, maka selanjutnya rele R16 akan bekerja pada waktu 0,3 detik. Ketika R16 gagal, maka selanjutnya rele R6 akan bekerja pada waktu 0,5 detik. Ketika rele R6 gagal, maka selanjutnya rele R5 akan bekerja pada waktu 0,7 detik. Ketika R5 gagal, maka selanjutnya rele R1,2,3 akan bekerja pada waktu 0,9 detik. Dalam hal ini, *grading time* dari setting rele pengaman (Δt) adalah 0,2 detik. Hal ini telah diperkenankan karena menurut standart IEEE 242 untuk perbedaan waktu minimum rele digital berbasis mikroprosesor (Δt) yaitu antara 0,2 – 0,3 detik.

Setelah diperoleh setting koordinasi rele yang tepat maka dilakukan pemodelan skema proteksi *Communication-Assisted* dengan menggunakan *Software Matlab Simulink* yang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Skema Proteksi *Communication-Assisted*

Pada Gambar 5 merupakan pemodelan skema proteksi arus lebih *communication-assisted* secara umum. Dapat dilihat pada gambar tersebut bahwa terdapat lima buah *Circuit Breaker* (CB) yang saling terkoordinasi yaitu Breaker 1, Breaker 2, Breaker 3, Breaker 4, dan Breaker 5. Lima *breaker* ini dapat berkoordinasi dengan prinsip skema proteksi arus lebih *communication-assisted* dimana Breaker 1 merupakan *breaker* pada sisi hulu dan Breaker 5 pada sisi hilir. Masing-masing *breaker* bekerja saat terjadi gangguan pada zona primernya. Pada Gambar 5 dapat dijelaskan beberapa hal yaitu sebagai berikut :

(1) Dari pemodelan tersebut, dapat dilihat bahwa pada Breaker 5 terdapat dua buah input yaitu input pertama dengan label “Gangguan 5” dan input kedua dengan label “Gagal Trip 5”. Saat *block constant* Gangguan 5 diberi input ‘1’ dimana hal ini menandakan terjadi gangguan pada Zona Primer 5, maka Breaker 5 akan bekerja di waktu 0,1 detik dan pada saat yang bersamaan Breaker lainnya *terblock* karena rele pada Breaker 5 akan mengirim *blocking signal* (sinyal *blocking*) pada rele *breaker* lainnya saat rele Breaker 5 merasakan gangguan (*sensing*). Sinyal *blocking* tersebut sekaligus memberi informasi kepada rele *breaker* lainnya untuk *trip* sesuai *setting time delay* ketika Breaker 5 gagal mengamankan. Sehingga pada hasil *running* simulasi, *breaker* lainnya yaitu (Breaker 4, Breaker 3, Breaker 2, dan Breaker 1) tidak akan bekerja dimana hal ini ditunjukkan pada masing-masing *display* Setting CB

bernilai output ‘0’. Ketika Breaker 5 gagal mengamankan dimana hal ini dimodelkan dengan memberi input ‘1’ pada *block constant* Gagal Trip 5, maka *breaker* lainnya akan bekerja sesuai urutan dengan waktu *setting backup*nya. *Setting backup* di sini sesuai dengan *setting* koordinasi yang telah diperoleh pada analisa perhitungan sebelumnya.

(2) Dari pemodelan tersebut, dapat dilihat bahwa pada Breaker 4 terdapat dua buah input yaitu input pertama dengan label “Gangguan 4” dan input kedua dengan label “Gagal Trip 4”. Saat *block constant* Gangguan 4 diberi input ‘1’ dimana hal ini menandakan terjadi gangguan pada Zona Primer 4, maka Breaker 4 akan bekerja di waktu 0,1 detik dan pada saat yang bersamaan Breaker lainnya *terblock* karena rele pada Breaker 4 akan mengirim *blocking signal* (sinyal *blocking*) pada rele *breaker* lainnya saat rele Breaker 4 merasakan gangguan (*sensing*). Sinyal *blocking* tersebut sekaligus memberi informasi kepada rele *breaker* lainnya untuk *trip* sesuai *setting time delay* ketika Breaker 4 gagal mengamankan. Sehingga pada hasil *running* simulasi, *breaker* lainnya yaitu (Breaker 3, Breaker 2, dan Breaker 1) tidak akan bekerja dimana hal ini ditunjukkan pada masing-masing *display* Setting CB bernilai output ‘0’. Ketika Breaker 4 gagal mengamankan dimana hal ini dimodelkan dengan memberi input ‘1’ pada *block constant* Gagal Trip 4, maka *breaker* lainnya akan bekerja sesuai urutan dengan waktu *setting backup*nya. *Setting backup* di sini sesuai dengan *setting* koordinasi yang telah diperoleh pada analisa perhitungan sebelumnya.

(3) Dari pemodelan tersebut, dapat dilihat bahwa pada Breaker 3 terdapat dua buah input yaitu input pertama dengan label “Gangguan 3” dan input kedua dengan label “Gagal Trip 3”. Saat *block constant* Gangguan 3 diberi input ‘1’ dimana hal ini menandakan terjadi gangguan pada Zona Primer 3, maka Breaker 3 akan bekerja di waktu 0,1 detik dan pada saat yang bersamaan Breaker lainnya *terblock* karena rele pada Breaker 3 akan mengirim *blocking signal* (sinyal *blocking*) pada rele *breaker* lainnya saat rele Breaker 3 merasakan gangguan (*sensing*). Sinyal *blocking* tersebut sekaligus memberi informasi kepada rele *breaker* lainnya untuk *trip* sesuai *setting time delay* ketika Breaker 3 gagal mengamankan. Sehingga pada hasil *running* simulasi, *breaker* lainnya yaitu (Breaker 2 dan Breaker 1) tidak akan bekerja dimana hal ini ditunjukkan pada masing-masing *display* Setting CB bernilai output ‘0’. Ketika Breaker 3 gagal mengamankan dimana hal ini dimodelkan dengan memberi input ‘1’ pada *block constant* Gagal Trip 3, maka *breaker* lainnya akan bekerja sesuai urutan dengan waktu *setting backup*nya. *Setting backup* di sini sesuai dengan *setting* koordinasi yang telah diperoleh pada analisa perhitungan sebelumnya.

(4) Dari pemodelan tersebut, dapat dilihat bahwa pada Breaker 2 terdapat dua buah input yaitu input pertama dengan label “Gangguan 2” dan input kedua dengan label “Gagal Trip 2”. Saat *block constant* Gangguan 2 diberi input ‘1’ dimana hal ini menandakan terjadi gangguan pada Zona Primer 2, maka Breaker 2 akan bekerja di waktu 0,1 detik dan pada saat yang bersamaan Breaker lainnya *terblock* karena rele pada Breaker 2 akan mengirim *blocking signal* (sinyal *blocking*) pada rele *breaker* lainnya saat rele Breaker 2 merasakan gangguan (*sensing*). Sinyal *blocking* tersebut sekaligus memberi informasi kepada rele *breaker* lainnya untuk *trip* sesuai *setting time delay* ketika Breaker 2 gagal mengamankan. Sehingga

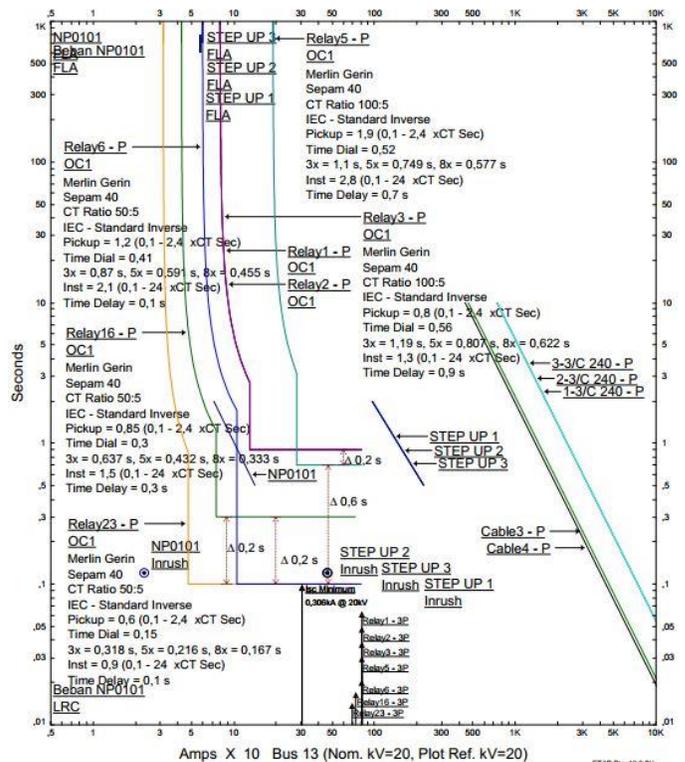
pada hasil *running* simulasi, *breaker* lainnya yaitu Breaker 1 tidak akan bekerja dimana hal ini ditunjukkan pada masing-masing *display* Setting CB bernilai output ‘0’. Ketika Breaker 2 gagal mengamankan dimana hal ini dimodelkan dengan memberi input ‘1’ pada *block constant* Gagal Trip 2, maka *breaker* lainnya akan bekerja sesuai urutan dengan waktu *setting backupnya*. *Setting backup* di sini sesuai dengan *setting* koordinasi yang telah diperoleh pada analisa perhitungan sebelumnya.

(5) Dari pemodelan tersebut, dapat dilihat bahwa pada Breaker 1 terdapat dua buah input yaitu input pertama dengan label “Gangguan 1” dan input kedua dengan label “Gagal Trip 1”. Saat *block constant* Gangguan 1 diberi input ‘1’ dimana hal ini menandakan terjadi gangguan pada Zona Primer 1. Dan karena rele Breaker 1 tidak mendapat sinyal *blocking* dari rele manapun, maka Breaker 1 akan bekerja di waktu 0,1 detik.

V. KESIMPULAN

Pada skema proteksi arus lebih *communication-assisted*, *setting* waktu rele proteksi arus lebih yaitu 0,1 detik dimana rele proteksi arus lebih dikoordinasikan dengan bantuan media komunikasi sebagai media untuk mengirimkan informasi *logic* berupa *blocking signal*. Ketika rele proteksi merasakan gangguan pada zona primernya, maka rele tersebut akan mengirimkan *blocking signal* pada rele lainnya. *Blocking signal* tersebut sekaligus memberi informasi kepada rele lainnya untuk *trip* sesuai *setting time delay* ketika CB pada zona primer gagal mengamankan. Hal ini membuat sistem proteksi lebih handal dan bekerja lebih cepat.

LAMPIRAN



Contoh skema saat kondisi gangguan berada pada Zona 3 yaitu daerah Feeder Karang Sari. Dapat dilihat bahwa pada saat terjadi gangguan di Zona 3 maka rele CB 3 aktif disetting waktu 0,1 detik dan mengirim *blocking signal* pada rele CB 2 dan rele CB 1. Rele CB 2 dan rele CB 1 akan aktif sebagai *backup* ketika CB 3 gagal melokalisir gangguan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis dalam usaha dan kerja sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul :

“Analisis Skema Proteksi Arus Lebih *Communication-Assisted* pada Sistem Distribusi Radial-Tie Switch Jaring Menengah 20 kV dengan *Distributed Generation* (DG) di PT. PLN Nusa Penida Bali”

Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan untuk menyelesaikan studi di Bidang Studi Teknik Sitem Tenaga, Program Studi S1 Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis dengan tulus ikhlas menyampaikan banyak terima kasih kepada :

- 1) Allah SWT yang telah memberikan anugerah kesehatan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini hingga selesai.
- 2) Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT. dan Bapak Dr. Ir. Soedibyo, M.MT. selaku dosen pembimbing, atas segala kesabaran dan kesediaannya meluangkan waktu untuk membimbing serta memberi dukungan sehingga laporan ini dapat terselesaikan tepat waktu.

- 3) Papa dan Mama selaku kedua orang tua serta seluruh keluarga penulis atas do'a, semangat, kasih sayang, dan kepercayaan yang diberikan selama ini, serta dukungan baik moril maupun materiil.
- 4) Dan semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah memberi dorongan dan bantuan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Pujiantara, "Kuliah Desain Sistem Tenaga Listrik," Teknik Elektro ITS, Surabaya, 2016.
- [2] T. guide, *Feeders management relay*, Alstom, 2002.
- [3] G. Turan, *Modern Power System Analysis*, Canada: The Permissions Departement John Wiley and Sons, 1988.
- [4] D. F. Edmund O. Schweitzer, *Applying Radio communication in Distribution Generation Teleprotection Schemes*, Schweitzer Engineering Laboratories, 2011.
- [5] R. M. a. K. Fodero, "High-Speed Distribution Protection Made Easy: Communications-Assisted Protection Schemes for Distribution Applications", *Proceedings of The 31st Annual Western Protective Relay Conference*, Spokane, October 2004..
- [6] J. J. D. Marcelo E. Valdes, "Advances in Protective Device Interlocking for Improved Protection and Selectivity," in *IEEE transactions on Industry*, May/June 2014., pp. Vol. 50, No. 3.
- [7] V. C. Nikolaidis, "A Communication-Assisted Overcurrent Protection Scheme for Radial Distribution Systems With Distributed Generation," 2015, IEEE.