

ANALISIS GANGGUAN DAN SISTEM PROTEKSI KELISTRIKAN PADA STUDI PENYAMBUNGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MINIHIDRO DENGAN KE JALA-JALA SISTEM DISTRIBUSI 20 KV JAWA TENGAH

Hikma Sisintito^{*)}, Mochammad Facta dan Enda Wista Sinuraya

Program Studi Sarjana Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: Hikmasisintito05@gmail.com

Abstrak

Aliran daya, analisis gangguan dan setting/resetting proteksi yang dilakukan pada makalah ini dilakukan pada saluran distribusi 20 kV Batang 10 sebelum adanya PLTM dan setelah adanya PLTM. Aliran daya, analisis gangguan dan setting/resetting proteksi serta menganalisis koordinasi proteksi dilakukan dengan simulasi pada software ETAP 16.0. Setelah melakukan analisis aliran daya didapatkan hasil dengan voltage drop paling besar adalah 3,09% yaitu, frekuensi masih dalam rentang 48,5 -51 Hz, power factor rata-rata adalah 93,5%. Sistem proteksi tenaga listrik sangat berguna dalam hal melindungi komponen komponen tenaga listrik, demi menghasilkan koordinasi yang bagus harus dilakukan setting/resetting yang bagus. Setting dan resetting yang dilakukan sudah berdasarkan IEC 60255. Hasil Analisis dari sistem proteksi PLTM Kambangan sampai ke jala jala adalah sudah bagus dikarenakan waktu pemutusan CB yang berkaitan dengan PLTM sudah dibawah batas maksimum waktu pemutusan, Dapat dilihat pada waktu pemutusan kritis CB 30 yang didekat PLTM adalah 0,233 s sedangkan waktu putus CB 30 setelah dilakukan setting relay adalah 0,03 s, hal itu membuat generator yang ada pada PLTM akan aman dari peristiwa lepas sinkron.

Kata kunci: Aliran daya, analisis hubung singkat, setting proteksi tenaga listrik, koordinasi proteksi tenaga listrik

Abstract

The power flow, fault analysis and protection settings/resetting carried out in this paper were carried out on a 20 kV Batang 10 distribution line before the PLTM and after the PLTM. Power flow, fault analysis and protection setting/resetting as well as protection coordination analysis were carried out by simulation on the ETAP 16.0 software. After analyzing power flow, the results showed that highest voltage drop was 3.09%, frequency was still in the range of 48.5 -51. Hz, the average power factor is 93.5%. The electric power protection system is very useful in terms of protecting the components electric power, in order to produce good coordination, good settings must be carried out. The settings and resetting are carried out based on IEC 60255. The results of the analysis from the Kambangan PLTM protection system to the nets are good because the CB disconnection time associated with the PLTM is already below the maximum disconnection time limit, it can be seen at the critical disconnection time of CB 30 which is near the PLTM is 0.233 s while the CB 30 dropout time after setting relay is 0.03 s, it makes generator in the PLTM safe from out of sync events.

Keyword : Load flow, short circuit analysis, setting electrical protection, coordination electrical protection

1. Pendahuluan

Pembangkit Listrik Tenaga MiniHidro (PLTM) merupakan salah satu alternatif pembangkitan untuk memberikan tambahan pasokan listrik di Indonesia [1].

Salah satu contoh PLTM yang direncanakan untuk dibuat adalah PLTM kambangan dengan memanfaatkan aliran air sungai kambangan untuk menggerakkan turbin serta generator. PLTM Kambangan akan membangkitkan dua generator dengan kapasitas 1750 KW per unit, yang rencananya akan di salurkan atau dihubungkan pada jaringan distribusi PLN 20 kV. Dari dua generator ini akan dihubung parallel yang kemudian dihubungkan pada grid

PLN 20 kV. Kapasitas daya yang dibangkitkan oleh PLTM akan memasok beban yang sebelumnya di pasok oleh Gardu induk batang pada saluran batang 10. PLTM ini dihubung on grid sehingga jika daya yang dibutuhkan oleh beban lebih besar dari pembangkit maka GI Batang akan mensuplay kekurangan daya yang dibutuhkan beban [2].

Pada PLTM kambangan yang direncanakan dihubungkan pada jaringan distribusi PLN 20 kV perlu ada studi kelayakan yang melibatkan analisis gangguan dan sistem proteksi kelistrikan pada pembangkit listrik tenaga Minihidro hingga jala-jala [3]. Ada beberapa macam gangguan diantaranya hubung singkat, beban lebih, tegangan lebih, kekurangan daya dan ketidakstabilan

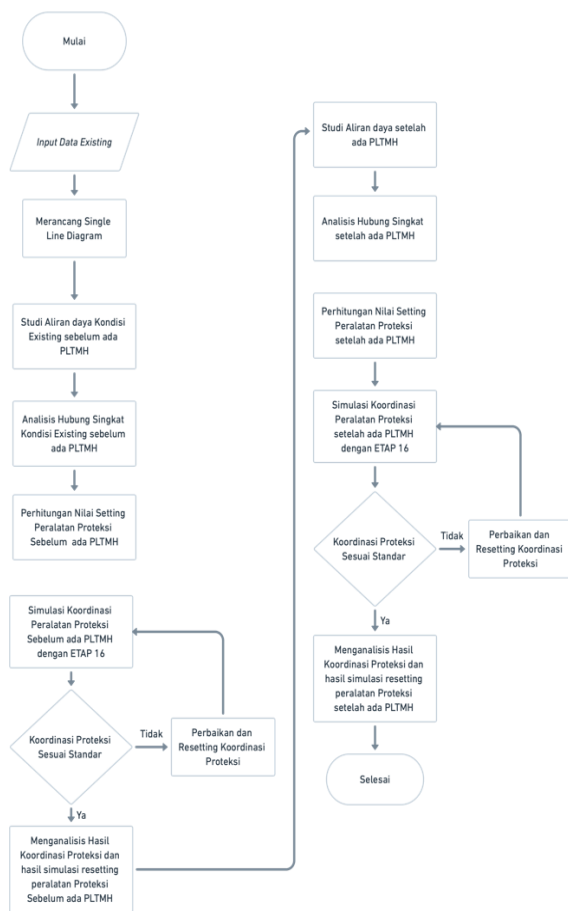
sistem [4]. Untuk melindungi peralatan-peralatan di PLTM Kambangan hingga ke jala-jala maka perlu diadakannya sistem koordinasi proteksi guna untuk mengurangi bahkan menghilangkan gangguan ketika terjadi gangguan di PLTM Kambangan baik di generator, transformator, distribusi dan peralatan pendukung lainnya.

Berdasarkan hal tersebut, pada makalah ini akan membahas analisis gangguan yang mungkin terjadi pada sistem kelistrikan distribusi 20 kV sebelum penyambungan PLTM kambangan dan setelah penyambungan. Pada makalah ini juga akan membahas sistem proteksi yang akan ada pada PLTM hingga ke jala-jala. Analisis gangguan dan proteksi yang akan ada pada PLTM. Hingga ke jala-jala yang sesuai dengan pedoman penyambungan pembangkit energi terbarukan ke sistem distribusi PT PLN(Persero) SK Direksi 0064.P/DIR/2019 [5].

2. Metode Penelitian

2.1. Langkah Pengerjaan

Berikut Ini Langkah Pengerjaan Penelitian Dapat Dilihat Pada Diagram Alir Yang Ditunjukkan Pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.2. Persamaan yang digunakan

2.2.1. Persamaan Setting Proteksi

Untuk mengetahui arus setting dari rele OCR maka menggunakan persamaan persamaan 1 dan 2.

$$I_{Rating} = I_{Nominal} \times 110\% \quad (1)$$

$$I_{Setting} = \frac{I_{Rating}}{Rasio CT} \quad (2)$$

Sedangkan untuk mengetahui arus setting dari rele GFR maka menggunakan persamaan 3 dan 4.

$$I_{Rating} = I_{Nominal} \times 40\% \quad (3)$$

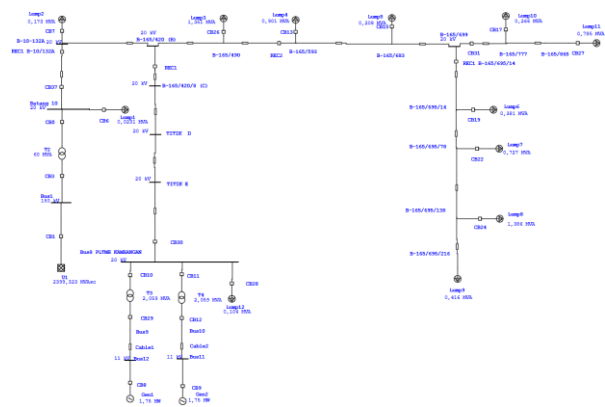
$$I_{Setting} = \frac{I_{Rating}}{Rasio CT} \quad (4)$$

Metode yang digunakan adalah standar invers, maka untuk mencari TMS menurut standar IEC 60255-151 menggunakan persamaan 5 seperti dibawah ini [6].

$$TMS = \frac{\left(\left(\frac{I_{sc}}{I_{Rating}}\right)^{0,02} - 1\right)}{0,14} \times t_{op} \quad (5)$$

2.3. Data Penelitian

2.3.1. Single line diagram

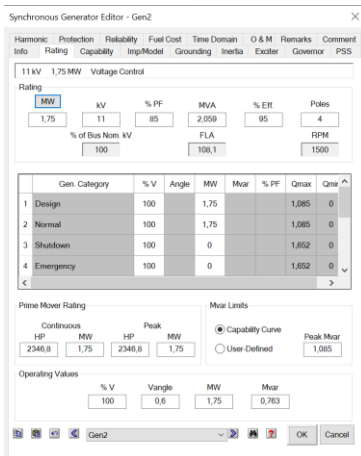


Gambar 2. Single line diagram PLTM Kambangan

2.3.2. Generator 1 dan 2

Generator 1 dan 2 yang digunakan pada PLTM Kambangan kapasitas dan jenis yang digunakan yaitu sama, generator ini berkapasitas 1,75 MW x 2 daya keluarannya sekitar 2,059 MVA untuk 1 generatornya

A. Rating generator



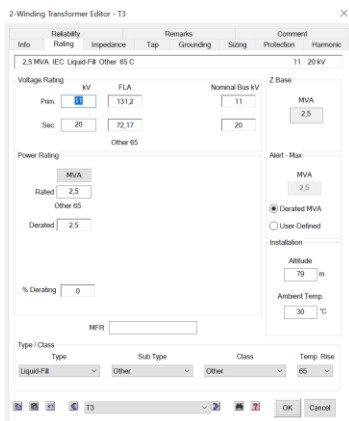
Gambar 3. Data generator PLTM Kambangan

B. Data Beban

Tabel 1. Hasil simulasi aliran daya

SWITCHING		BEBAN (A)		
		R	S	T
PMT	BTG10	207	242	163
RECLOSER	B10-132A	206	241	163
ABSW	B-165/490	202	238	154
RECLOSER	B-165/593	179	140	152
LBS	B-165/683	126	125	139
RECLOSER	B-165/695/14	89	89	96
ABSW	B-165/695/78	87	63	90
ABSW	B-165/695/138	71	17	87
LBS	B-165/695/216	21	7	12
LBS	B-165/699	34	23	40
ABSW	B-165/777	30	10,0	31

C. Transformator GI



Gambar 4. Data transformator PLTM Kambangan

3. Hasil dan Analisis

3.1. Aliran Daya

Pada kondisi beban puncak menghasilkan data simulasi pada table 2.

Tabel 2. Hasil simulasi aliran daya

ID	kV	MVA	%PF	Amp
B-10-132A	20,31	3,758	93,1	106,8
B-165/420 (B)	19,77	6,646	93,6	194,1
B-165/420/8 (C)	19,81	3,103	93,2	90,4
B-165/490	19,49	6,552	94,0	194,1
B-165/593	19,17	5,187	94,3	156,2
B-165/683	19,12	4,412	94,4	133,2
B-165/695/14	18,87	2,747	94,5	84,0
B-165/695/78	18,67	2,386	94,5	73,8
B-165/695/138	18,6	1,746	94,6	54,2
B-165/695/216	18,59	0,399	95,2	12,4
B-165/699	18,91	3,789	94,6	115,7
B-165/777	18,86	1,036	95,1	31,7
B-165/865	18,85	0,841	95,0	25,8
Batang 10	20,46	3,808	92,9	107,5
Bus1	150	3,820	92,7	14,7
Bus8 PLTM KAMBANGAN	20,47	3,722	93,2	105,0
Bus9	11	1,909	91,7	100,2
Bus10	11	1,909	91,7	100,2
Bus11	11	1,909	91,7	100,2
Bus12	11	1,909	91,7	100,2
TITIK D	20,26	3,529	93,2	100,6
TITIK E	20,39	3,609	93,2	102,0

Hasil dari aliran daya sudah sesuai standar SPLN 1:1995 batas maksimum dan minimum perubahan tegangan adalah +5% dan -10% [6].

Hasil arus dari aliran daya digunakan untuk menentukan rating dari peralatan proteksi seperti CB dan recloser. Digunakan juga untuk menentukan rasio dari CT [7].

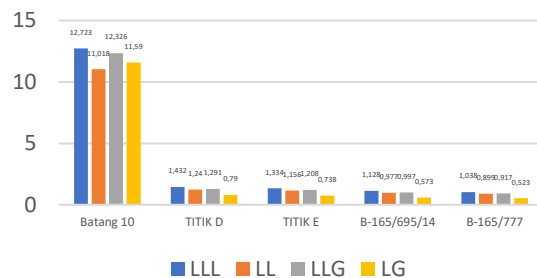
3.2. Analisis Hubung Singkat

Titik gangguan yang dipilih untuk analisis hubung singkat adalah sebagai berikut:

1. Titik Batang 10 (Titik yang paling dekat dengan Gardu Induk)
2. Titik D (Titik sambung)
3. Titik E (Dekat dengan PLTM)
4. Titik B-165/695/14
5. Titik B-165/777

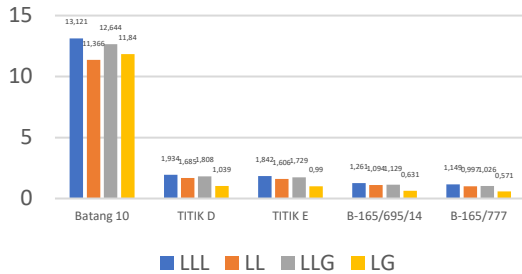
Analisis hubung singkat yang dilakukan adalah gangguan LLL (gangguan 3 fasa), LL (gangguan fasa ke fasa), LLG (gangguan 2 fasa ke tanah) dan LG (gangguan fasa ke tanah) [8].

Berikut hasil simulasi sebelum adanya PLTM:



Gambar 5. Hasil simulasi arus hubung singkat maksimum sebelum ada PLTM (kA)

Setelah adanya PLTM menghasilkan arus hubung singkat sebagai berikut :



Gambar 6. Hasil simulasi arus hubung singkat maksimum sebelum ada PLTM

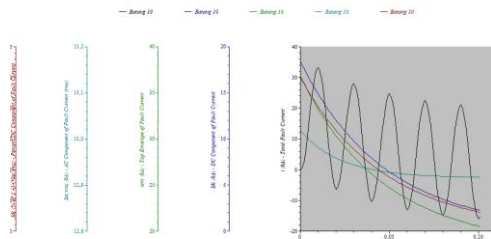
Data hasil simulasi arus hubung singkat ini digunakan untuk *Setting* Proteksi dan harus mempertimbangkan juga hasil simulasi hubung singkat transien [9].

Setelah ada PLTM simulasi hubung singkat transien adalah sebagai berikut :

Tabel 3. Hasil simulasi hubung singkat transien

Bus ID	kV	Short circuit current (kA, rms)		
		Subtransient	Transient	Steady State
Batang 10	20,000	13,018	12,917	12,632
TITIK D	20,000	1,907	1,751	1,331
TITIK E	20,000	1,809	1,658	1,229
B-165/695/14	20,000	1,251	1,216	0,979
B-165/777	20,000	1,141	1,112	0,891

Untuk contoh kurva keluaran dapat dilihat pada gambar 7 yaitu pada gangguan bus Batang 10



Gambar 7. Kurva arus hubung singkat transien pada batang 10

Pada gambar 7 menunjukkan arus hubung singkat gangguan transien menggunakan simulasi ETAP 16.0 dengan standar IEC 61363 [10].

3.3. Perhitungan *Setting* Proteksi

Pada perhitungan proteksi sebelum adanya PLTM dengan persamaa IEC 60255-151 menghasilkan *setting* proteksi sebagai berikut :

<https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient>

Tabel 4. Hasil perhitungan *Setting* proteksi sebelum ada PLTM

ID ETAP	Merek	Rasio CT	Setting Rele OCR		Setting rele GFR	
			Pick Up	TMS/Delay	Pick Up	TMS/Delay
Relay 01	ALSTO M P123	300/5	0,8465	0,325	0,306	0,167
Relay 02	ALSTO M P123	2000/5	0,9526	0,275	0,3463	0,124
Relay 03	ALSTO M P123	300/5	0,7375	0,2	0,2682	0,083
Relay 04	ALSTO M P123	300/5	0,7486	0,1	0,2722	0,066
Relay 05	ALSTO M P139	300/5	0,0398	0,586	0,0145	0,117
Relay 11	ALSTO M P123	300/5	0,5442	0,237	0,0394	0,05
Relay 12	ALSTO M P139	300/5	0,112	0,261	0,0407	0,056
Relay 13	ALSTO M P123	300/5	0,2972	0,193	0,024	0,065

Setelah adanya PLTM Kambangan diperlukan *resetting* kembali terhadap proteksi yang telah ada [11]. Dari *resetting* tersebut mendapatkan hasil perhitungan sebagai berikut.

Tabel 5. Perhitungan *resetting* proteksi setelah adanya PLTM Kambangan

ID ETAP	Merek	Rasio CT	Setting Rele OCR		Setting rele GFR	
			Pick Up	TMS/Delay	Pick Up	TMS/Delay
Relay 01	ALSTOM P123	300/5	0,8465	0,168	0,306	0,167
Relay 02	ALSTOM P123	2000/5	0,9526	0,069	0,3463	0,124
Relay 03	ALSTOM P123	300/5	0,3922	0,219	0,426	0,108
Relay 04	ALSTOM P123	300/5	0,38	0,125	0,1381	0,087
Relay 05	ALSTOM P139	300/5	0,33	0,037	0,1206	0,069
Relay 11	ALSTOM P123	300/5	0,5442	0,237	0,0394	0,05
Relay 12	ALSTOM P139	300/5	0,112	0,261	0,0407	0,056
Relay 13	ALSTOM P123	300/5	0,2972	0,193	0,024	0,065
Relay 06	ALSTOM P139	300/5	0,3742	0,011	0,136	0,032
Relay 07/08	ALSTOM P139	300/5	0,2646	0,05	0,1747	0,01
Relay 09/10	ALSTOM P139	300/5	0,4809	0,193	0,024	0,065

3.4. Koodinasi Proteksi

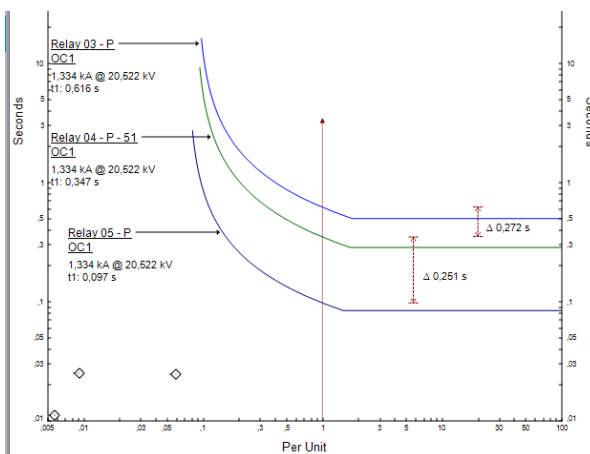
Berdasarkan hasil perhitungan menghasilkan koordinasi proteksi setelah adanya PLTM Kambangan ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Koordinasi Proteksi setelah adanya PLTM Kambangan

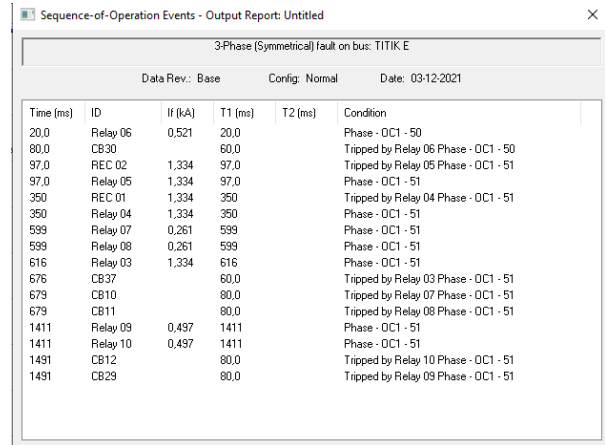
Fault	Interval Waktu Antar Relay (s)	Waktu Buka CB terhadap Relay (s)	Koordinasi Proteksi	KET
Batang 10 Sisi PL PTMH	-	CB37 0,06	Kurang Bagus	Walaupun koordinasi kurang bagus akan tetapi tetap aman untuk komponen
Batang 10 Sisi GI	Relay 02 - 01 0,325	CB5 0,08 CB3 0,08	Bagus	-
TITIK D Sisi PLTM	Relay 06-07/08 0,278	CB10 0,08 CB11 0,08	Bagus	-
TITIK D Sisi GI	Relay 07/08-09/10 0,217	CB12 0,08 CB29 0,08	Bagus	-
TITIK E Sisi PLTM	Relay 05-04 0,244	CB37 0,06	Bagus	-
TITIK E Sisi GI	Relay 04-03 0,263	CB30 0,06 CB10 0,08	Bagus	-
B-165/695/14	Relay 06-07/08-09/10 0,216	CB11 0,08 CB12 0,08	Bagus	-
B-165/777	Relay 05-04 0,251	CB29 0,08	Bagus	-
	Relay 04-03 0,272	CB37 0,06	Bagus	-
	Relay 13-11 0,22	-	Bagus	-
	Relay 12-11 0,23	CB23 0,06	Bagus	-

Dari Tabel 6. Dilihat bahwa hasil sudah memenuhi standar IEEE 242 Std mengenai waktu buka CB antara 0,06 sampai 0,1 s (3-5 Cycle) [12], mengenai *grading time* antar waktu kerja relai yaitu 0,2 sampai 0,4 s [13].

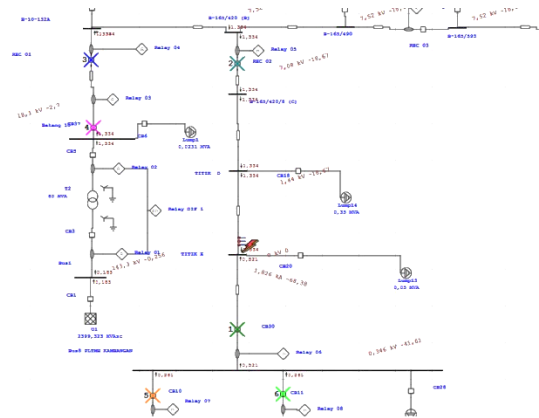
Sebagai contoh dapat dilihat dari gambar 8. Contoh kurva koordinasi, pada gambar 9. Contoh tampilan waktu pemutusan dan pada gambar 10. Contoh *single line diagram* koordinasi proteksi.



Gambar 8. Contoh Kurva Koordinasi Proteksi



Gambar 9. Contoh tampilan waktu pemutusan



Gambar 10 Contoh *single line diagram* koordinasi proteksi

Dari hasil simulasi didapatkan bahwa koordinasi sudah bagus sesuai dengan zona proteksi yang ada [14]. Selain berpatokan dengan standar koordinasi proteksi harus berpatokan dengan waktu pemutusan kritis seperti pada Tabel 7.

Tabel 7. Waktu pemutusan kritis

No	ID ETAP	Waktu Pemutusan Kritis
1	CB30	0,233
2	CB37	0,230

Dari hasil simulasi proteksi maka dapat disimpulkan waktu buka CB sudah aman, masih jauh dibawah waktu pemutusan kritis sehingga generator pada PLTM terproteksi dan tidak akan lepas sinkron [15].

4. Kesimpulan

Penyambungan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) menghasilkan aliran daya dengan *voltage drop* paling besar adalah 3,09% yaitu, frekuensi masih dalam rentang 48,5 -51 Hz, *power factor* rata-rata adalah 93,5%. Hal ini sesuai dengan batas minimum dan maksimum pada Peraturan Direksi PT PLN no 0064.P/DIR,2019 dan standar SPLN 1:1995

Arus hubung singkat meningkat ketika adanya PLTM Kambangan contohnya pada gangguan 3 fasa bus Batang 10, sebelum adanya PLTM arus hubung singkatnya adalah 12,723 kA dan setelah adanya PLTM menjadi 13,121 kA. Hal tersebut terjadi karena adanya penambahan *supply* arus hubung singkat yang baru yaitu PLTM itu sendiri. Akan tetapi dengan adanya PLTM tidak ada komponen yang diganti dikarenakan komponen masih dapat bertahan atau tidak melewati batas maksimum ketika dilakukan analisis hubung singkat.

Perancangan proteksi dimulai dari perhitungan arus setting yang digunakan pada relay dan TMS untuk menentukan juga cepat atau lambatnya relay itu bekerja sesuai dengan standar IEC 60255. Relay OCR dan GFR yang dipilih untuk dipakai adalah relay merek ALSTOM P123 dan ALSTOM P139 dikarenakan ALSTOM memiliki karakteristik yang sesuai dengan kondisi sistem yang membutuhkan skala setting yang kecil.

Koordinasi peralatan proteksi kondisi *resetting* sudah bekerja dengan baik sesuai yang ditampilkan pada kurva arus terhadap waktu, dimana kurva tiap-tiap peralatan tidak ada yang saling memotong satu sama lain dan *grading time* diantara 0,2 s sampai 0,4 s IEEE Std 242-2001. Dimulai dari *Recloser/CB* yang bertugas untuk melindungi PLTM terlebih dahulu lalu dilanjutkan dengan *Recloser/CB* yang dari sisi Gardu Induk dan *Recloser/CB back up* akan bekerja setelahnya. Waktu buka CB juga sudah sesuai standar IEEE Std 242-2001 yaitu antara 0,06 s sampai 0,1 s.

PLTM Kambangan dari segi analisis aliran daya yang memperbaiki sistem dibuktikan dengan tidak adanya *under voltage* yang melewati batas sesuai standar SPLN 1:1995, dari analisis hubung singkat dapat dinyatakan bahwa tidak adanya komponen yang harus diganti karena bertambahnya PLTM pada sistem dan untuk analisa koordinasi proteksi yang dilakukan menghasilkan waktu pemutusan dalam rentan aman seperti pada CB30 waktu pemutusan 0,03 s sedangkan batas pemutusan kritisnya adalah 0,233 s, *grading time* waktu kerja antara relay dan waktu buka CB sesuai dengan standar IEEE Std 242-2001, sehingga dapat disimpulkan dari segi analisis gangguan

dan sistem proteksi PLTM Kambangan layak untuk disambungkan ke jaringan distribusi PLN 20 kV.

Referensi

- [1]. Restia Kurniawati, "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) Kerambil 2 x 1500 kW di Sungai Batang Bayang, Desa Muara Air, Kec. Bayang Utara, Kab. Pesisir Selatan," Laporan Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Andalas, 2017
- [2]. Rizky Ramadhan, "Perancangan PLTM 460 kW On-Grid (Grid Connected) di Banjarnegara, Kelurahan Semampir, Desa Banyumlayu," Laporan Tugas Akhir, Teknologi Industri, Universitas Trisakti, 2018.
- [3]. H.Saadat, *Power System Analysis*, Third. USA: PSA Publishing, 1999.
- [4]. John J. Grainger, William D. Stevenson, Jr., "Power System Analysis", McGraw- Hill Inc, 1994
- [5]. Kementrian ESDM. (2020). Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik (Grid Code). *Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia*, (3), 417–607. Retrieved from <https://jdih.esdm.go.id/storage/document/PMESDM No 20 Tahun 2020>.
- [6]. PT. PLN (Persero) Standar-Standar Tegangan. Standar Perusahaan Listrik Negara, 1995.
- [7]. *Schneider Electric, Overcurrent Protection for Phase and Earthfaults, Network Protection & Automation Guide*, 1950.
- [8]. IEC *Overcurrent Protection for Phase and Earth Faults*, IEC Standard 60255-151, 2009.
- [9]. IEC *Calculation of currents dalam Short-circuit currents in threephase a.c. systems*, IEC Standard 60909-0, 2001.
- [10]. IEC *Electrical Installations of Ships, Mobile and Fixed offshore Units-Part 1: Procedures for Calculating Short Circuit Currents in Three-Phase a.c.*, IEC Standard 61363-1, 1997.
- [11]. PT.PLN (Persero), "Buku Pedoman Proteksi dan Kontrol Penghantar," *Prot. dan Kontrol Penghantar*, vol.0520-3.K/DIR/2014, p. 42, 2010.
- [12]. IEEE *Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems*, IEEE Standard 242, 2001.
- [13]. Suswanto, Daman, "Sistem Distribusi Tenaga Listrik Edisi Pertama", Padang, 2009.
- [14]. W. Ali, M. Usama, H. Iqbal, A. Bashir, and H. Farooq, "Analyzing the impact of grid connected distributed micro-hydro generation under various fault conditions," Int. Conf. Electr. Eng. ICEE, 2018.
- [15]. P. Kundur, *Power System Stability And Control*, New York:McGraw-Hill, 1994.