

ANALISA GANGGUAN HUBUNG PENDEK DALAM RANGKA IDENTIFIKASI ARUS GANGGUAN PADA INTERKONEKSI SISTEM PLTMH DI DURIAN TIBARAU PASAMAN BARAT

Cahayahati¹, Indra Nisja², Mirza Zoni³

^{1,2,3} Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Bung Hatta

^{1,2,3} Kampus III. Jalan Gajah Mada no.19 Olo Nanggalo Padang 25143

¹cahayahati@bunghatta.ac.id

²drindra765@bunghatta.ac.id

³mirzazoni@bunghatta.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

diajukan : 23-12-2022
revisi : 20-01-2023
diterima : 26-01-2023
dipublish : 31-01-2023

ABSTRAK

Interkoneksi sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) dapat terjadi keadaan tidak normal karena terjadi gangguan pada satu titik. Gangguan yang terjadi berupa hubung pendek fasa tunggal ke tanah, antar fasa, ganda fasa ke tanah dan tiga fasa ke tanah. Nilai arus gangguan hubung pendek yang berbeda dapat digunakan untuk identifikasi arus gangguan dalam penetapan setting dan rating alat proteksi arus lebih. Penyelesaian arus gangguan hubung pendek dengan menggunakan teknik impedansi urutan dan rangkaian ekuivalen berdasarkan jenis gangguan yang terjadi. Aplikasi simulasi gangguan hubung pendek dengan software ETAP 12.6 pada interkoneksi sistem 6 bus unit PLTMH, 6 bus beban, 12 saluran total kapasitas terpasang 234,5 kVA atau 187,6 kW, 3 Fasa 400 V 50 Hz di Durian Tibarau Pasaman Barat. Studi kasus titik gangguan terjadi pada bus 33 PLTMH Kampung Sejati didapat hasil arus gangguan fasa tunggal a ke tanah 718 A, arus gangguan antar fasa b-c 537 A, arus gangguan ganda fasa b-c ke tanah 835 A, Arus gangguan tiga fasa 609 A dan arus gangguan terbesar 1.564 A.

Kata Kunci: Interkoneksi, PLTMH, Hubung Pendek, ETAP 12.6.

ABSTRACT**ANALYSIS OF SHORT CIRCUIT INTERFERENCE IN THE FRAMEWORK OF IDENTIFICATION OF INTERFERENCE CURRENT IN THE INTERCONNECTION OF PLTMH SYSTEMS IN DURIAN TIBARAU PASAMAN BARAT.**

Interconnection of the Micro Hydro Power Plant (MHP) system can occur in abnormal conditions due to fault at one point. The fault that occur are short circuits of single phase to ground, inter-phase, double phase to ground and three phases to ground. The different value of short circuit fault currents can be used to identify the fault currents in determining of settings and ratings of over current protection devices. Solution of short circuit currents by using sequential impedance techniques and equivalent circuits based on the type of fault that occurs. Application of ETAP 12.6 software was used for short circuit fault simulation of interconnection system with 6 buses MHP units, 6 load buses, 12 lines with total installed capacity of 234.5 kVA or 187.6 kW, 3 Phase 400 V, 50 Hz in Durian Tibarau, West Pasaman. The case study of the fault point occurring on bus 33 MHP at Kampung Sejati was obtained with the results of single phase fault current a to ground is 718 A, fault current between phases b-c is 537 A, double phase fault current b-c to ground 835 A, three-phase fault current is 609 A and the largest fault current is 1,564 A.

Keywords: Interconnection, MHP, Short Circuit, ETAP 12.6.

PENDAHULUAN

Studi gangguan hubung pendek pada interkoneksi sistem tenaga listrik untuk melihat besar arus gangguan yang terjadi pada satu titik gangguan akibat ada kondisi tidak normal atau terganggu. Arus gangguan hubung pendek sangat berbahaya terhadap kondisi sistem dapat membuat sistem tenaga rusak dan tidak bisa beroperasi. Besar arus hubung pendek yang terjadi bervariasi berdasarkan jenis gangguan yang terjadi pada satu titik gangguan. Jenis gangguan yang terjadi berupa gangguan fasa tunggal ke tanah, antar fasa, antar dua fasa ke tanah dan tiga fasa ke tanah. Hasil arus gangguan hubung pendek akan naik yang dinyatakan dengan konstruksi saluran impedansi rangkaian ekuivalen urutan mengalami perubahan

akibat adanya gangguan pada salah satu titik. Perbedaan besar arus gangguan yang terjadi dapat dilakukan identifikasi besar arus gangguan yang harus diamankan.

Pembahasan analisa gangguan hubung pendek pada sistem tenaga listrik pada interkoneksi sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) menyalurkan daya ke beban pada jaringan tegangan rendah dan kapasitas kecil suatu menarik. PLTMH yang di interkoneksi terdiri dari bus 6 unit PLTMH, 6 bus beban konsumen dan 12 saluran yang beroperasi menyalurkan daya ke titik beban dengan jarak pendek tegangan operasi 400 V. Interkoneksi sistem PLTMH melayani beban rumah di Durian Tibarau kabupaten Pasaman Barat.

Dalam menyelesaikan analisa gangguan hubung pendek interkoneksi sistem 6 bus PLTMH, 6 bus beban dan 12 saluran memodelkan sistem interkoneksi dalam diagram satu garis. Data yang dibutuhkan adalah data unit PLTMH, data impedansi saluran jaringan, data beban dan letak titik gangguan. Simulasi gangguan hubung pendek dengan jenis gangguan satu fasa ke tanah, antar dua fasa, dua fasa ke tanah dan antar tiga fasa ke tanah. Persamaan gangguan menggunakan teknik rangkaian ekuivalen impedansi urutan positif (Z_1), negatif (Z_2) dan nol (Z_0).

TEORI

Persamaan arus gangguan hubung pendek yang terjadi pada satu titik gangguan diselesaikan dengan teknik rangkaian ekuivalen urutan berdasarkan impedansi Z_1 , Z_2 dan Z_0 . Persamaan arus gangguan urutan positif (I_{a1}), negatif (I_{a2}) dan nol (I_{a0}). Arus gangguan fasa a (I_{af}), fasa b (I_{bf}) dan fasa c (I_{cf}). Tegangan gangguan urutan positif (V_{a1}), negatif (V_{a2}) dan nol (V_{a0}) dan tegangan gangguan fasa a (V_{af}), fasa b (V_{bf}) dan fasa c (V_{cf}). Berdasarkan jenis gangguan menggunakan rumus sebagai berikut:

1. Gangguan fasa tunggal a ke tanah

- Arus gangguan I_{a1} , I_{a2} dan I_{a0} adalah :

$$I_{a0} = I_{a1} = I_{a2} = \frac{1,0 \angle 0^\circ}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + 3Z_f} \quad (1)$$

Impedansi Z_1 , Z_2 dan Z_0 terhubung seri.

- Arus gangguan I_{af} , I_{bf} dan I_{cf} adalah :

$$\begin{aligned} I_{af} &= I_{a0} + I_{a1} + I_{a2} = 3I_{a1} \\ I_{bf} &= I_{a0} + a^2 I_{a1} + a I_{a2} = 0 \\ I_{cf} &= I_{a0} + a I_{a1} + a^2 I_{a2} = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

- Tegangan gangguan V_{af} , V_{bf} dan V_{cf} adalah :

$$\begin{aligned} V_{af} &= V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} = 0 \\ V_{bf} &= -Z_0 I_{a0} + a^2(1 - Z_1 I_{a1}) + a(-Z_2 I_{a2}) \\ V_{cf} &= -Z_0 I_{a0} + a(1 - Z_1 I_{a1}) + a^2(-Z_2 I_{a2}) \end{aligned} \quad (3)$$

2. Gangguan fasa b dan c

- Arus gangguan I_{a1} , I_{a2} dan I_{a0} adalah :

$$\begin{aligned} I_{a0} &= 0 \\ I_{a1} &= -I_{a2} = \frac{1,0 \angle 0^\circ}{Z_1 + Z_2} \end{aligned} \quad (4)$$

Impedansi Z_1 dan Z_2 terhubung seri. Sedangkan impedansi Z_0 terpisah.

- Arus gangguan I_{af} , I_{bf} dan I_{cf} adalah :

$$\begin{aligned} I_{af} &= 0 \\ I_{bf} &= -I_{cf} = \sqrt{3} I_{a1} \angle -90^\circ \end{aligned} \quad (5)$$

- Tegangan gangguan V_{af} , V_{bf} dan V_{cf} adalah :

$$\begin{aligned} V_{af} &= 1,0 + I_{a1}(Z_2 - Z_1) \\ V_{bf} &= a^2 + I_{a1}(aZ_2 - a^2 Z_1) \\ V_{cf} &= a + I_{a1}(a^2 Z_2 - aZ_1) \end{aligned} \quad (6)$$

3. Gangguan fasa b dan c ke tanah

- Arus gangguan I_{a1} , I_{a2} dan I_{a0} adalah :

$$\begin{aligned} I_{a1} &= \frac{1,0 \angle 0^\circ}{(Z_1 + Z_0)Z_2 / (Z_0 + Z_2)} \\ I_{a2} &= -\left[\frac{(Z_0)}{(Z_0 + Z_2)} \right] I_{a1} \\ I_{a0} &= -\left[\frac{(Z_2)}{(Z_2 + Z_0)} \right] I_{a1} \end{aligned} \quad (7)$$

Impedansi Z_2 dan Z_0 terhubung paralel dan terhubung seri dengan Z_1

- Arus gangguan I_{af} , I_{bf} dan I_{cf} adalah :

$$\begin{aligned} I_{af} &= 0 \\ I_{bf} &= I_{a0} + a^2 I_{a1} + a I_{a2} \\ I_{cf} &= I_{a0} + a I_{a1} + a^2 I_{a2} \end{aligned} \quad (8)$$

- Tegangan gangguan V_{af} , V_{bf} dan V_{cf} serta tegangan gangguan V_{a0} adalah :

$$\begin{aligned} V_{a0} &= V_{a1} = V_{a2} = 1,0 - Z_1 I_{a1} \\ V_{af} &= V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} = 3V_{a1} \\ V_{bf} &= V_{cf} = 0 \end{aligned} \quad (9)$$

4. Gangguan fasa a, b dan c ke tanah

- Arus gangguan I_{a1} , I_{a2} dan I_{a0} adalah :

$$I_{a1} = \frac{1,0 \angle 0^\circ}{Z_1}$$

$$I_{a0} = 0$$

$$I_{a2} = 0$$
(10)

Hanya Z_1 terhubung ke sumber

- Arus gangguan I_{af} , I_{bf} dan I_{cf} adalah :

$$I_{af} = I_{a1} = \frac{1,0 \angle 0^\circ}{Z_1 + Z_f}$$

$$I_{bf} = a^2 I_{a1} = \frac{1,0 \angle 240^\circ}{Z_1 + Z_f}$$

$$I_{cf} = a I_{a1} = \frac{1,0 \angle 120^\circ}{Z_1 + Z_f}$$
(11)

- Tegangan gangguan V_{af} , V_{bf} dan V_{cf} serta tegangan gangguan V_{a1} adalah :

$$V_{a1} = Z_f I_{a1}$$

$$V_{af} = V_{a1} = Z_f I_{a1}$$

$$V_{bf} = a^2 V_{a1} = Z_f I_{a1} \angle 240^\circ$$

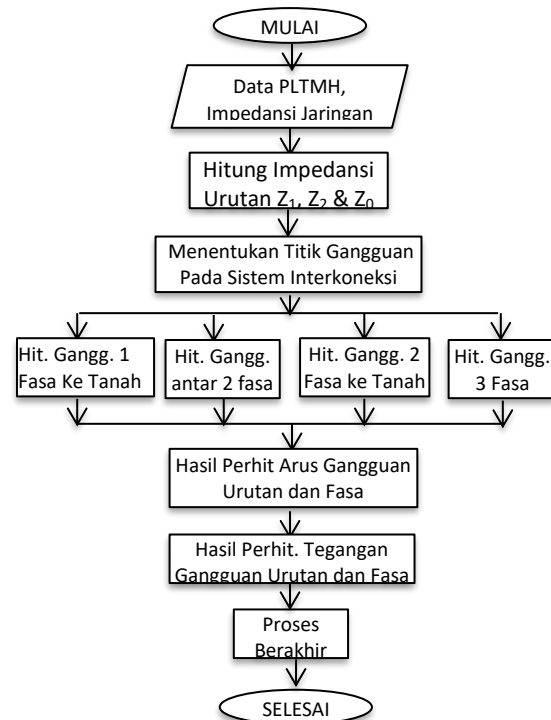
$$V_{cf} = a V_{a1} = Z_f I_{a1} \angle 120^\circ$$
(12)

Penyelesaian persamaan diatas dengan menggunakan simulasi gangguan hubung pendek menggunakan aplikasi ETAP 12.6.

METODOLOGI

Proses penyelesaian arus gangguan hubung pendek ada tiga tahap yaitu:

1. Menyiapkan data PLTMH, impedansi saluran tegangan rendah dan beban.
2. Menghitung impedansi urutan, arus gangguan urutan dan fasa, menghitung arus urutan dan fasa serta tegangan urutan dan tegangan fasa.
3. Hasil perhitungan arus fasa a, fasa b dan fasa c. Tegangan fasa a, b dan c. Alur penyelesaian dinyatakan dalam diagram alir sebagai berikut:



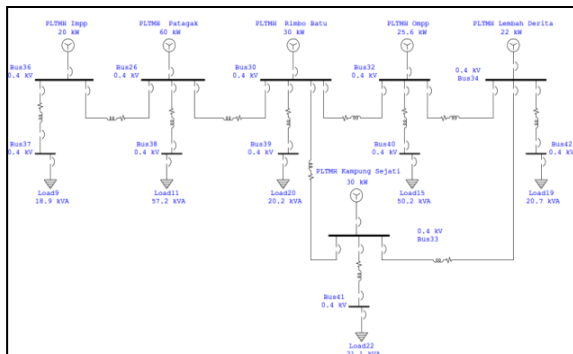
Gambar 1 Perhitungan Gangguan Hubung Pendek

Simulasi gangguan hubung pendek menggunakan ETAP 12.6 diaplikasi terjadi gangguan pada satu bus PLTMH. Hasil untuk identifikasi arus gangguan yang digunakan untuk menentukan setting dan rating alat proteksi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data 6 bus PLTMH, data 6 bus beban ada pada Tabel 1. Gambar satu garis interkoneksi sistem 6 bus PLTMH, 6 bus beban dan 12 jaringan dengan sistem 3 fasa, tegangan 400 V, faktor daya 0,85 dan frekuensi 50 Hz menggunakan ETAP 12.6. Data 12 saluran (Z_{ij}) terdiri dari impedansi Z_1 , Z_2 dan Z_0 ada pada Tabel 2.

Dalam simulasi gangguan terjadi pada bus 33 PLTMH Kampung Sejati ditampilkan pada di Gambar 2.



Gambar 2. Interkoneksi 6 bus PLTMH, 6 bus beban dan 12 jaringan

Tabel 1. Data 6 Bus PLTMH & 6 Bus Beban

No. Bus	Nama Bus	Kapasitas (kW)	Tipe Bus
26	Patagak	60	Swing
30	Rimbo Batu	30	PV
32	OMPP	25,6	PV
33	Kampung Sejati	30	PV
34	Lembah Derita	22	PV
36	IMPP	20	PV
37	Beban	16,1	PQ
38	Beban	48,6	PQ
39	Beban	17,2	PQ
40	Beban	42,6	PQ
41	Beban	18,0	PQ
42	Beban	17,6	PQ

Tabel 2. 12 Saluran Impedansi Urutan (+), (-) dan (0)

Z _{ij} Bus	Z ₁ (Ohm)	Z ₂ (Ohm)	Z ₀ (ohm)
36 - 37	0,323+j 0,184	0,323+j 0,184	0,397+j 0,828
26 - 38	0,645+j 0,368	0,645+j 0,368	0,793+j 1,655
30 - 39	0,968+j 0,552	0,968+j 0,552	1,181+j 2,483
33 - 41	0,387+j 0,221	0,387+j 0,221	0,476+j 0,993
32 - 40	0,484+j 0,276	0,484+j 0,276	0,595+j 1,241
34 - 42	0,323+j 0,184	0,323+j 0,184	0,397+j 0,828
26 - 36	0,516+j 0,294	0,516+j 0,294	0,635+j 1,324
26 - 30	0,516+j 0,294	0,516+j 0,294	0,635+j 1,324
30 - 32	0,361+j 0,206	0,361+j 0,206	0,444+j 0,927
30 - 33	1,787+j 1,019	1,787+j 1,019	2,197+j 4,585
32 - 34	0,497+j 0,283	0,497+j 0,283	0,611+j 1,275
33 - 34	1,290+j 0,736	1,290+j 0,736	1,586+j 3,312

Hasil simulasi dari kasus gangguan hubung pendek titik gangguan terjadi pada bus 33 PLTMH Kampung Sejati didapat arus gangguan fasa I_{af}, I_{bf} dan (I_{cf}) dan

tegangan gangguan fasa V_{af}, V_{bf} dan V_{cf} didapat sebagai berikut:

Tabel 3 Hasil Arus dan Tegangan Gangguan Fasa a ke Tanah

Bus I V	Bus 33		Bus 30		Bus 34	
	Bes.	Sud.	Bes.	Sud.	Bes.	Sud.
I _{af} (A)	718	-68,3	140	-46,8	162	-50,4
I _{bf} (A)	0,0	0,0	40	135,3	42	129,4
I _{cf} (A)	0,0	0,0	41	130,6	44	125,2
V _{af} (V)	0,0	0,0	83,05	-7,1	70,52	-9,9
V _{bf} (V)	97,43	-111,2	93,42	-118,1	91,32	-115,8
V _{cf} (V)	86,75	112,7	99,79	115,2	97,55	112,9

Hasil simulasi gangguan hubung pendek pada titik gangguan bus 33 didapat arus gangguan satu fasa a ke tanah (I_{af}) sebesar 718∠ - 68,3⁰ A, arus gangguan di fasa b (I_{bf}) dan fasa c (I_{cf}) nilainya nol karena arus gangguan hanya ada di fasa a yang terganggu. Begitu juga dengan nilai tegangan gangguan fasa a (V_{af}) sama dengan nol, tegangan gangguan di fasa b (V_{bf}) dan fasa c (V_{cf}) Ada nilainya. Pengaruh bus terdekat bus 30 dan bus 34 nilai arus gangguan fasa a (I_{af}) 3,5 kali lebih besar dari arus gangguan fasa b (I_{bf}) dan fasa c (I_{cf}) Tabel 3.

Tabel 4 Hasil Arus dan Tegangan Gangguan Fasa b dan c

Bus I V	Bus 33		Bus 30		Bus 34	
	Bes.	Sud.	Bes.	Sud.	Bes.	Sud.
I _{af} (A)	0,0	0,0	3	-20,0	3	-28,5
I _{bf} (A)	537	-155,6	135	-134,7	154	-138,7
I _{cf} (A)	537	24,4	134	46,3	153	42,2
V _{af} (V)	98,33	-0,9	99,69	-0,6	99,27	-0,8
V _{bf} (V)	49,16	179,1	91,81	-131,9	83,84	-138,8
V _{cf} (V)	49,16	179,1	79,36	118,9	67,23	122,6

Hasil simulasi gangguan hubung pendek pada titik gangguan bus 33 didapat arus gangguan antar fasa b (I_{bf}) dan fasa c (I_{cf}) besaran arus 537 A tapi berbeda sudut 120⁰ berlawanan arah, sedangkan di fasa a tidak terganggu (I_{af}) nilainya nol. Tegangan gangguan di fasa a

(V_{af}) sama dengan $98,33 \angle -0,9^{\circ} V$, dua kali lebih besar dengan tegangan gangguan fasa b (V_{bf}) dan fasa c (V_{cf}) sebesar $49 \angle 179,1^{\circ} V$. Pengaruh bus terdekat bus 30 dan bus 34 nilai arus gangguan fasa a (I_{af}) jauh lebih dari arus gangguan fasa b (I_{bf}) dan fasa c (I_{cf}), sedangkan tegangan gangguan fasa a, b dan c berbeda sedikit, lihat Tabel 4.

Tabel 5 Hasil Arus dan Tegangan Gangguan fasa b dan c ke Tanah

Bus I V	Bus 33		Bus 30		Bus 34	
	Bes.	Sud.	Bes.	Sud.	Bes.	Sud.
I_{af} (A)	0,0	0,0	49	-50,0	52	-55,9
I_{bf} (A)	636	163,4	141	-159,0	163	-164,0
I_{cf} (A)	714	59,5	153	68,2	174	65,2
V_{af} (V)	80,92	4,4	91,62	-3,2	86,04	-3,2
V_{bf} (V)	0,0	0,0	85,18	-130,2	72,70	-135,3
V_{cf} (V)	0,0	0,0	79,13	113,5	65,17	112,0

Hasil simulasi gangguan hubung pendek pada titik gangguan bus 33 didapat arus gangguan antar fasa b (I_{bf}) sebesar $636 \angle 163,4^{\circ} A$ dan fasa c (I_{cf}) sebesar $714 \angle 59,5^{\circ} A$ sedang di fasa a yang tidak terganggu (I_{af}) nilainya nol. Tegangan gangguan di fasa a (V_{af}) sama dengan $80,92 \angle 4,4^{\circ} V$, sedang tegangan fasa b (V_{bf}) dan fasa c yang terganggu nol. Pengaruh bus terdekat bus 30 dan bus 34 nilai arus gangguan fasa a (I_{af}) lebih kecil dari arus gangguan fasa b (I_{bf}), sedangkan tegangan gangguan fasa a, b dan c ada nilainya, lihat Tabel 5.

Tabel 6 Hasil Arus dan Tegangan Gangguan 3 Fasa ke Tanah

Bus I V	Bus 33		Bus 30		Bus 34	
	Real	Imag.	Real	Imag.	Real	Imag.
I_{af} (A)	244	559	111	109	116	133
V_{af} (%)	0,0	0,0	80,58	0,0	66,22	0,0

Hasil simulasi gangguan hubung pendek pada titik gangguan bus 33 antar

tiga fasa didapat arus gangguan pada fasa a, b dan c sama besar sudutnya berbeda 120° . Sedangkan dengan bus 33 dan bus 34 beda besarnya lima kali.

Arus puncak terjadi pada gangguan satu fasa a ke tanah sebesar 1.564 A, arus terendah pada antar fasa b dan c sebesar 609 A.

KESIMPULAN

Hasil simulasi gangguan hubung pendek terjadi pada bus 33 PLTMH dengan jenis gangguan fasa tunggal a ke tanah, ganda fasa b dan c, ganda fasa b dan c ke tanah dan tiga fasa dapat diidentifikasi bahwa: Dalam kondisi normal arus beban mengalir dari bus 33 ke bus terdekat yaitu bus 30 sebesar 20,4 A, arus beban dari bus 33 ke bus 34 sebesar 0,5 A dan ke bus 41 sebesar 21,0 A. Arus gangguan hubung pendek terbesar 1.564 A arus gangguan terkecil 609 A menjadi acuan untuk setting rele dan rating pemutus. Proteksi arus lebih pada bus 33 PLTMH Kampung Sejati rele disetting pada 1,5 dari arus beban 21,0 A dan rating pemutus lebih besar dari arus gangguan 1.564 A (1,564 kA).

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah telah terlaksana penelitian ini dan kami ucapkan terima kasih atas kerjasamanya pada pengurus PLTMH IMPP, PLTMH Kampung Sejati, PLTMH Lembah Derita, PLTMH OMPP, PLTMH Patagak, PLTMH Rimbo Batu dan masyarakat daerah Durian Tibarau kabupaten Pasaman Barat.

DAFTAR PUSTAKA

Hadi Suyono, Rini Nur Hasanah, Teguh Utomo, Markus D. Letik, (Desember 2012), "Analisa Stabilitas Sistem Daya

- Pada Interkoneksi PLTMH Ampelgading Di Gardu Induk Turen.*
I.G.N Rudy, I.W. Rinas, I.M. Suartika, (Desember 2015),” *Analisa Setting Relay Pengaman Generator Pltg Di Pt Indonesia Power Ubp Bali Unit Pesanggaran.*
- I Gede Putu Agus Wartama, (2015), ”*Interkoneksi Daya Listrik Tenaga Minihidro Tukad Balian Tabanan Dengan Jaringan Listrik PLN Menggunakan Simulink.*
- Nadeo Mayendra, Cahayahati and Arzul,’ (2021),”*Perencanaan Pemasangan Dan Koordinasi OCR dan GFR Pada Sistem Interkoneksi PLTMH Aplikasi Interkoneksi PLTMH Durian Tibarau Pasaman Barat Diploma thesis, Universitas Bung Hatta.*
- Rizki Aditio Pribadi dan Cahayahati, (September 2018),”*Perancangan Sistem Distribusi Interkoneksi Multi PLTMH Di Kawasan Durian Tibarau Vi Koto Utara, Kinali, Pasaman Barat.*
- Sri Sukamta, Adhi Kusmantoro, (Desember 2013),”*Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Jantur Tabalas Kalimantan Timur.*
- Wahyu Arief Nugroho, Mochammad Facta, Karnoto, (Desember 2014),”*Koordinasi Penempatan Peralatan Proteksi Jenis Arus Lebih (OCR) Dan Pelebur (FCO) Di Penyulang 20 kV dari GI 150/20 kV Mrica Banjarnegara.*