

2.Buku_Laporan_Penelitian_PO C_PLTM_Palangai_Hulu.pdf

by Hidayat Hidayat Pltm

Submission date: 04-Jan-2022 11:23AM (UTC+0700)

Submission ID: 1737300676

File name: 2.Buku_Laporan_Penelitian_POC_PLTM_Palangai_Hulu.pdf (3.98M)

Word count: 16864

Character count: 96411

LAPORAN PENELITIAN

Kajian Kelayakan Penyambungan (*Power of Connection*) Pembangkit Tenaga Listrik Tenaga Mini Hydro (PLTM) 9,8 MW Palangai Hulu Kabupaten Pesisir Selatan



Oleh :

Dr. Hidayat

Universitas Bung Hatta

Saiful Jamaan, Ph. D

PT. DEMPO SUMBER ENERGI

Dany Embang

Pensiunan PT. PLN (Persero)

Padang 2015



PT. PLN (Persero)

**HALAMAN PENGESAHAN
HASIL PENELITIAN MANDIRI**

Judul

16
Kajian Kelayakan Penyambungan (*Power of Connection*) Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hydro (PLTM) 9,8 MW Palangai Hulu Kabupaten Pesisir Selatan

Ketua Peneliti

7
a. Nama : Dr. Hidayat, S.T., M.T.
b. NIDN : 1031057001
c. Jabatan Fungsional : Lektor
d. Program Studi : Teknik Elektro
e. No. HP : 081267048037
f. Alamat Surel (e-mail) : hdyttanjung@yahoo.com

Anggota Peneliti (1)

a. Nama : Dr. Ir. Saiful Jamaan, M.Eng
b. NIDN :
c. Perguruan Tinggi :

Anggota Peneliti (2)

a. Nama : Ir. Dany Embang
b. NIDN :
c. Perguruan Tinggi :

34
Lama Penelitian : 6 (bulan)
Penelitian Tahun Ke :
Biaya Penelitian Keseluruhan : Rp. 15.000.000,-
Biaya Tahun Berjalan :
Diusulkan ke DIKTI
Dana Internal PT
Dana Mandiri : Rp. 15.000.000,-

Mengetahui
Jurusan Teknik Elektro
Ketua,



Ir. Arnita, M.T.
NIP. 19621124199203 2002

Padang, April 2015
Ketua Peneliti,



Dr. Hidayat, S.T., M.T.
NIK. 960 700 420

Mengetahui:
Fakultas Teknologi Industri
Dekan;



Drs. Mulyanef, S.T., M.Sc
NIP.19590208 198701 1001

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kita panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan rahmat-Nya pekerjaan “Kajian Kelayakan Sambungan dan Analisa Aliran Daya PLTM Palangai Hulu 2 x 4,9 MW”¹¹ dapat diselesaikan dengan baik. Kajian ini merupakan salah satu syarat bagi pengembang PLT EBT sebelum melakukan kontrak³ perjanjian jual beli tenaga listrik dengan PT. PLN (Persero) sebagai perusahaan yang ditugaskan pemerintah untuk membeli energi listrik dari pengembang PLT EBT swasta.

⁴³ Pada kesempatan ini, kami ingin mengucapkan terima kasih kepada:

- ¹² General Manager PT. PLN (Persero) Wilayah Sumbar, Manager PT. PLN Area Padang, Manager PT. PLN Rayon Balai Selasa dan Rayon Painan yang telah memberi kesempatan kepada kami untuk mendapatkan data-data dan informasi yang diperlukan dalam kajian ini
- Bapak **Darmalis**, Bapak **Randi Kosiwa**,⁴⁴ yang telah membantu dalam memberikan data kelistrikan yang diperlukan dalam kajian ini
- Ibuk **Yaya Rahmawaty** selaku General Manager Dempo Hidro Power,⁴² yang telah memberikan kesempatan kepada kami untuk melakukan kajian ini
- Bapak **Nils Oktiawarman** selaku Manager Operasional Dempo Hidro Power³ yang telah memberikan masukan dan koreksi, untuk kesempurnaan laporan ini.
- Bapak **Nursidin, M. Eng.**, selaku *Technical Advisor* DHP dan *Team Leader* PT. Modulatama Inti Kreasi (MIK) serta seluruh *team* FS MIK yang banyak memberikan informasi dan arahan untuk kesempurnaan kajian ini
- Seluruh *team research* AME **Handi Land Rovero, ST.**, **Idmorisa Aditya, ST.** dan **Ayu Handayani, S. Pd.** yang telah dengan sungguh-sungguh melaksanakan tugas yang diberikan

26
Dan kepada semua pihak yang telah membantu pelaksanaan kajian ini baik langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu, 51 kami ucapkan terima kasih. Semoga semua sumbangsih Bapak-Bapak, Ibu-Ibu dan saudara sekalian menjadi amal di sisi-Nya, amin.

11
Kami menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan laporan. 27 Oleh karena itu, kami mengharapkan kritik dan saran untuk kesempurnaan laporan ini. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Padang, April 2015

Dr. Hidayat, S.T., M.T
Team Leader

RANGKUMAN

Pusat Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) Palangai Hulu berdasarkan hasil *feasibility study* yang telah dilakukan oleh PT. Modulatama Inti Kreasi, berkapasitas terpasang 9.8 MW (2 x 4,9 MW), dengan *Capacity Factor* (CF) 61%. Lokasi PLTM di daerah Balai Selasa Kecamatan Ranah Pesisir Kabupaten Pesisir Selatan. PT. Dempo Sumber Energi (DSE) sebagai pengembang PLTM Palangai Hulu akan melakukan kontrak penjualan energi listrik dengan Perusahaan Listrik Negara PT. PLN (Persero) (PLN) selaku perusahaan yang ditunjuk pemerintah untuk membeli energi listrik dari pengembang Pusat Listrik Energi Baru dan Terbarukan (PLT EBT) umumnya, khususnya PLTM.

Kajian ini dilakukan untuk memenuhi aspek legal, aspek teknis dan aspek ekonomi dari pembangunan sebuah PLTM. Dari aspek legal kegiatan ini merupakan salah satu syarat yang harus dilakukan sebelum penandatanganan Perjanjian Jual Beli Tenaga Listrik (PjBL) antara DSE dengan PLN sesuai Keputusan Direksi PLN No. 0357 tahun 2014 dan aspek teknis diantaranya menganalisa dampak operasi sistem distribusi (*Impact Operation distribution System Analysis*) dengan tersambunganya PLTM ke sistem distribusi PLN, sementara aspek ekonomi adalah untuk menganalisa seberapa besar energi PLTM dapat diserap oleh PLN. Yang pada akhirnya menggambarkan kondisi kelayakan secara finansial (*Sensitivity Analysis*).

Setelah dilakukan Kajian Kelayakan Sanbungan dan Analisa Aliran Daya disimpulkan hal-hal sebagai berikut (1) Dari aspek legal, proses pembangunan PLTM Palangai Hulu layak untuk masuk kepada proses berikutnya yaitu penandatanganan kontrak jual beli tenaga listrik (PjBL), karena telah memenuhi syarat-syarat yang diatur pada Kepmen ESDM No 12 dan No 22 tahun 2014 serta keputusan Direksi PLN No. 0357 tahun 2014. (2) Secara teknis, tidak terdapat dampak operasi sistem distribusi PLN setelah PLTM Palangai Hulu tersambung ke sistem kelistrikan PLN Rayon Balai Selasa. (3) *Point of Connection* (POC) sebagai titik transaksi penjualan energi listrik oleh DSE kepada PLN yang paling ekonomis adalah di Gardu Hubung GH PLN Rayon Balai Selasa (4) Energi yang dibangkitkan oleh PLTM Palangai Hulu dapat diserap rata-rata 96,4% (52.68 GWh) mulai tahun 2018 (4) Biaya SUTM dan POC *equipment* adalah sebesar Rp. 11.577.000.000,-(5) Untuk *Sensitivity Analysis*, diperlukan rencana pola operasi PLTM yang lebih rinci dan karakteristik turbin serta harga mesin dari penyedia.

DAFTAR ISI

DATA PLTM	i
8 KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR ISTILAH.....	xi
1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	3
1.3 Permasalahan.....	3
1.4 Batasan Permasalahan.....	3
1.5 Metode Pelaksanaan.....	4
2 STUDI SISTEM KELISTRIKAN PLN	
2.1 Lokasi dan Data Studi.....	6
2.2 Sistem Kelistrikan Sumatera Barat.....	8
2.3 Sistem Kelistrikan Rayon Painan dan Rayon Balai Selasa.....	9
7 3 STUDI KELAYAKAN PENYAMBUNGAN DAN DAMPAK SISTEM DISTRIBUSI	
3.1 Studi Aliran Daya (<i>Load Flow Study</i>).....	13
3.1.1 PLTM Palangai Hulu Sebelum Paralel dengan Sistem 20 kV GH Balai Selasa Tahun 2018.....	13
3.1.2 PLTM Palangai Hulu Beroperasi dan Tersambung ke GH Balai Selasa Tahun 2018.....	19
3.2 Studi Hubung Singkat (<i>Short Circuit Study</i>).....	23
3.3 Studi Koordinasi Proteksi	28

3.3.1	Gangguan Fasa-Fasa.....	30
3.3.2	Koordinasi Relai Saat Gangguan 1 Fasa ke Tanah.....	32
3.4	Studi Stabilitas Transien (<i>Transient Stability Study</i>).....	34
3.5	Studi Harmonisa dan <i>Flicker</i>	36
4	STUDI FASILITAS PENYAMBUNGAN	
4.1	Pemilihan Komponen SUTM 20 kV.....	37
4.1.1	Kawat Penghantar.....	38
4.1.2	Tiang.....	40
4.1.3	Komponen Pendukung.....	43
4.2	Fasilitas Penyambungan (POC) PLTM Palangai Hulu.....	45
4.3	Biaya Fasilitas POC dan SUTM 20 kV.....	49
5	KAJIAN KELAYAKAN OPERASI DAN KAJIAN RESIKO	
5.1	Kajian Kelayakan Operasi.....	50
5.2	Kajian Resiko.....	54
6	KESIMPULAN DAN SARAN	
6.1	Kesimpulan.....	64
6.2	Rekomendasi.....	65

Daftar Pustaka
Lampiran

DAFTAR TABEL

7	
Tabel 2.1	: Data Pelanggan PT. PLN (Persero) Wilayah Sumatera Barat untuk 5 tahun terakhir..... 10
Tabel 2.2	: Kebutuhan Energi Jual (MWh) Rayon Painan dan Rayon Balai Selasa..... 12
Tabel 2.3	: PLTM yang Telah Diverifikasi PLN Wilayah Sumatera Barat di Kabupaten Pesisir Selatan..... 13
Tabel 3.1	: Kondisi Saat PLTM Palangai Hulu akan Paralel dengan Sistem Distribusi PLN pada Tahun 2018..... 19
Tabel 3.2	: Kondisi Tegangan dan Susut Teknis Jaringan Tahun 2018 Kondisi LWBP di GH Balai Selasa..... 20
Tabel 3.3	: Tegangan dan Susut Teknis Tahun 2018 Kondisi WBP di Balai Selasa..... 21
Tabel 3.4	: Pola Pengoperasian PLTM Palangai Hulu kondisi WBP dan LWBP tahun 2018..... 22
Tabel 3.5	: Serapan Energi PLTM Palangai Hulu Kondisi WBP dan LWBP Tahun 2018..... 22
Tabel 3.6	: Kondisi Pembebanan Konduktor di Subsistem Rayon Balai Selasa Tahun 2018..... 23
Tabel 3.7	: Nilai Arus Hubung Singkat pada Saat WBP Tahun 2018 di Subsistem Rayon Balai Selasa..... 25
Tabel 3.8	: Kemampuan Pemutusan PMT di GI Kambang dan Gardu Hubung di Rayon Balai Selasa 27
Tabel 3.9	: Kinerja Relai Proteksi Saat Gangguan Fasa-Fasa di Busbar 20 kV GI Kambang..... 31
Tabel 3.10	: Kinerja Relai Proteksi Saat Gangguan Fasa-Fasa di bus 20 kV GH Air Haji..... 32
Tabel 3.11	: 11 Kinerja Relai Proteksi Saat Gangguan Fasa-Fasa di GH Indra Pura..... 33
Tabel 3.12	: Kinerja Relai Proteksi Saat Gangguan Fasa-Fasa pada Bus 20 kV GH Balai Selasa..... 34
Tabel 3.13	: Kinerja Relai Proteksi Saat Gangguan fasa ke Tanah di Busbar 20 kV GI Kambang/GH Lakuak..... 36

5	1	Tabel 3.14	: Kinerja Relai Proteksi Saat Gangguan fasa ke Tanah di Busbar 20 kV GH Air Haji.....	37
Tabel 3.15	11	: Kinerja Relai Proteksi Saat Gangguan Fasa ke Tanah pada Busbar 20 kV GH Indera Pura.....		38
Tabel 3.16	11	: Kinerja Relai Proteksi Saat Gangguan Fasa ke Tanah pada Busbar 20 kV GH Balai Selasa.....		39
Tabel 3.17		: Sistem Harmonics Bus WBP 2018.....		48
Tabel 3.18		: Laporan Total Harmonic Distortion.....		49
Tabel 4.1	4	: Momen listrik jaringan SUTM dengan penghantar AAAC, M ₁ 1% [MW.km].....		40
Tabel 4.2	4	: KHA Penghantar AAAC pada suhu keliling 35°C , kecepatan angin 0,6 m/detik (pada suhu maksimum 80°C tanpa angin faktor koreksi 0.7).....		43
Tabel 4.3	4	: Gaya mekanis pada tiang awal dan ujung.....		47
Tabel 4.4		: Gaya mekanis maksimum pada tiang sudut.....		48
Tabel 4.5		: Kekuatan tarik tiang awal/ujung untuk penghantar AAAC.....		48
Tabel 4.6		: Kekuatan tarik tiang sudut untuk penghantar AAAC + LVTC.....		49
Tabel 4.7		: Karakteristik Palang.....		50
Tabel 4.8		: Rekapitulasi Biaya SUTM 20 kV dan POC.....		53
Tabel 5.1		: Sasaran kegiatan penyambungan.....		54
Tabel 5.2		: Deployment Profil Resiko.....		55
Tabel 5.3		: Analisa dan Resiko yang Mungkin Terjadi dalam Penyambungan PLTM Palangai Hulu.....		56
Tabel 5.4		: Rencana tindakan yang akan dilakukan.....		57
Tabel 5.5		: Persyaratan Teknis PLT EBT.....		59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	: Diagram alir metode pelaksanaan kajian penyambungan PLTM.....	7
⁶ Gambar 2.1	: ¹⁶ Lokasi Studi PLTM pada Peta Sumatera Barat.....	9
Gambar 2.2	: Lokasi Studi PLTM pada Kabupaten Pesisir Selatan.....	9
Gambar 2.3	: ¹⁵ <i>Single Line Diagram</i> Sistem 20 kV Rayon Painan.....	14
Gambar 2.4	: ¹⁵ <i>Single line diagram</i> sistem 20 kV Rayon Balai Selasa.....	15
Gambar 2.5	: Diagram Segaris Sistem Kelistrikan 20 kV Rayon Balai Selasa Tahun 2018 Setelah GI Kambang Beroperasi.....	16
Gambar 3.1	: Kurva Kelelahan konduktor A3C dan A2C.....	28
Gambar 3.2	: Kurva TOC Relay 11, Relay 22 Saat Gangguan Fasa ke Fasa pada Busbar 20 kV GH Balai Selasa.....	35
Gambar 3.3	: Kurva TOC Relay 11 dan Relay 22 Saat Gangguan Fasa ke Tanah di Bus GH Balai Selasa.....	40
Gambar 3.4	: Plot Sudut Rotor Semua Generator PLTM Palangai Hulu.....	43
Gambar 3.5	: Plot Tegangan <i>Exciter</i> Generator PLTM Palangai Hulu.....	44
Gambar 3.6	: Plot Frekuensi/Kecepatan Generator PLTM Palangai Hulu.....	45
Gambar 3.7	: Plot Tegangan Bus 20 kV PLTM Palangai Hulu.....	46
Gambar 4.1	: Diagram 1 garis PLTM Palangai Hulu.....	50
Gambar 4.2	: Penghantar A3C untuk SUTM 20kV.....	51
Gambar 4.3	: Pemilihan Ukuran Kawat Penghantar SUTM 20 kV dengan drop tegangan 10%.....	55

DAFTAR ISTILAH

A3C	<i>All Aluminium Alloy Conductor</i>
AAAC	<i>All Aluminium Alloy Conductor</i>
AAC	<i>Aluminium Alloy Conductor</i>
AR	Analisa Resiko
BPP	Biaya Pokok Produksi
Busbar	Rel daya
COD	<i>Connecting Operation Date</i>
CT	<i>Current Transformer</i>
d	Diameter
daN	Deka Newton
DAS	Daerah Aliran Sungai
DCC	<i>Direct Client-to-Client</i>
DED	<i>Detail Engineering Design</i>
DIR	Direktur
DS	<i>Disconnecting Switch</i>
DSE	Dempo Sumber Energi
EHV	<i>Extra high voltage</i>
ESDM	Energi Sumber Daya dan Mineral
ETAP	Aplikasi Simulasi Sistem Tenaga Listrik
F	Gaya
Fd	Faktor Distribusi
GH	Gardu Hubung
GI	Gardu Induk
GM	<i>General Manager</i>
GW	Giga Watt
GW	<i>Guy Wire</i>
Hz	Herz
I	Arus
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IPP	<i>Independent Power Producer</i>
ϕ	Beda Fasa
kA	Kilo Ampere
KHA	Kemampuan Hantar Arus
KITLUR	Pembangkitan dan Penyaluran
KKF	Kajian Kelayakan Finansial
KKO	Kajian Kelayakan Operasi
km	Kilo Meter
kms	Kilo Meter Sirkuit
kV	Kilo Volt
kW	Kilo Watt
kWh	<i>Kilo Watt Hour</i>
λ	Konduktifitas

L	Panjang Saluran
LVTC	<i>Low Voltage Twisted Cable</i>
LWBP	Luar Waktu Beban Puncak
m	Meter
M	Momen Listrik
m ²	Meter Kuadrat
mm ²	Mili Meter Kuadrat
MV	Mega Volt
MVA	Mega Volt Ampere
MW	Mega Watt
MW.km	Satuan Momen Listrik
N	Newton
NGR	<i>Neutral Grounding Resistance</i>
No	Nomor
OCG	<i>Over Current Ground Fault</i>
OCR	<i>Over Current Relay</i>
OLTC	<i>On Load Tap Changer</i>
OVR	<i>Over Voltage Relay</i>
P	Daya Aktif
P2B	Perencanaan Pola Penyaluran dan Beban
P3B	Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban
PBO	Penutup Balik Otomatis
PCC	<i>Point of Common Coupling</i>
Pemkab	Pemerintah Kabupaten
Perda	Peraturan Daerah
Perdir	Peraturan Direktur
Permen	Peraturan Menteri
PF	<i>Power Factor</i> (Faktor Daya)
PH	<i>Power House</i>
PjBL	Perjanjian Jual Beli Tenaga Listrik
PLT EBT	Pusat Listrik Energi Baru dan Terbarukan
PLTA	Pusat Listrik Tenaga Air
PLTD	Pusat Listrik Tenaga Diesel
PLT EBT	Pusat Listrik Energi Baru dan Terbarukan
PLTGU	Pusat Listrik Tenaga Gas Uap
PLTM	Pusat Listrik Tenaga Minihidro
PLTP	Pusat Listrik Tenaga Panas Bumi
PLTU	Pusat Listrik Tenaga Uap
PMT	Pemutus
POC	<i>Power of Connecting</i>
PPA	<i>Power Purchase Agreement</i>
PPN	Pajak Pertambahan Nilai
PT	<i>Potensial Transformer</i>
PT. DSE	Dempo Sumber Energi

PT. PLN (Persero)	Perusahaan Listrik Negara
q	Luas Penampang Saluran
R	Tahanan Penghantar
RAB	Rencana Anggaran Biaya
Rp	Rupiah
RUPTL	Perencanaan Usaha Penyediaan Tenaga Listrik
SCCR	Short Circuit Rating Current
SLO	Sertifikat Laik Operasi
SNI	Standar Nasional Indonesia
SOP	<i>Standing Operation Procedure</i>
SPLN	Standard PLN
SUTM	Saluran Udara Tegangan Menengah
TM	<i>Tegangan Menengah</i>
TWh	<i>Tera Watt hour</i>
UKL	Upaya Pengelolaan Lingkungan Hidup
UPL	Upaya Pemantauan Lingkungan Hidup
V	Tegangan
VAR	<i>Volt Ampere Reactive</i>
VR	<i>Voltage Relay</i>
WBP	Waktu Beban Puncak
X	Reaktansi Penghantar
α	Sudut
Δu	Jatuh Tegangan dalam %
Δv	Jatuh Tegangan

¹³ BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi Listrik pada era sekarang sudah menjadi kebutuhan primer, akan tetapi ketersediaan listrik belum semua terpenuhi oleh ³²Perusahaan Listrik Negara, PT. PLN (Persero) (PLN), termasuk di Provinsi Sumatera Barat. Sehubungan dengan hal itu PT. Dempo Sumber Energi (DSE) berkeinginan untuk membangun ¹Pusat Listrik Tenaga Air di bawah 10 Mega Watt (MW), Pusat Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) di Sumatera Barat. Salah satunya berada di lokasi ⁴⁷Nagari Palangai Gadang, Kecamatan Ranah Pesisir, Kabupaten Pesisir Selatan. Pada Nagari Palangai Gadang mengalir Sungai Batang Palangai yang panjangnya 63,09 km. Daerah aliran sungai (DAS) Sungai Batang Palangai berasal dari lereng Gunung Malenggok yang merupakan bagian dari pegunungan Bukit Barisan diantara wilayah Kabupaten Pesisir Selatan dan Kabupaten Solok Selatan, dengan luas Daerah Aliran Sungai untuk bendung 292,10 Km² dan anak sungai utamanya adalah Batang Palangai Kaciak.

Pemanfaatan Sungai Batang Palangai ¹³selama ini digunakan sebagai kebutuhan irigasi, dan kebutuhan air baku, pemanfaatan yang lain belum maksimal, sehingga mendorong DSE untuk memanfaatkan debit air yang melimpah digunakan untuk PLTM dengan mengubah Tenaga ¹³Air menjadi Tenaga Listrik. Agar tidak mengganggu kebutuhan air yang lain, direncanakan pembuatan bendung baru dengan tipe bendung tetap, dengan ⁴⁹Intake Bendung Palangai akan kembali mengalir ke sungai Batang Palangai. Berdasarkan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2013 s/d 2022 diinformasikan bahwa dalam 5 ⁵tahun terakhir, yaitu antara tahun 2008 sampai 2012 usaha yang dilakukan pemerintah dalam hal ini ⁵PLN terus mengalami pertumbuhan. Penjualan energi listrik meningkat dari 128 Tera Watt hour (TWh) pada tahun 2008 menjadi 172 TWh pada 2012, jumlah pelanggan meningkat dari 39 juta

pada tahun 2008 menjadi 50 juta pada tahun 2012, dan rasio elektrifikasi meningkat dari 62,3% pada tahun 2008 menjadi 75,59% pada 2012. PLN memperkirakan⁵ antara tahun 2013 dan 2032 pemakaian energi listrik akan meningkat dari 189 TWh dengan pertumbuhan rata-rata 8,4% per tahun. Jumlah pelanggan juga meningkat dari 54 juta menjadi 77 juta dengan penambahan⁵ rata-rata 2,7 juta per tahun. Penambahan pelanggan tersebut akan meningkatkan rasio elektrifikasi dari 79% menjadi 97,7%.

Sebagai antisipasi terhadap¹² pertumbuhan kebutuhan listrik tersebut, diperlukan tambahan kapasitas pembangkit sebanyak 59,5 Giga Watt (GW) untuk seluruh Indonesia, atau kapasitas rata-rata 6 GW seluruh Indonesia per tahun. Penambahan kapasitas akan dibangun oleh PLN dan *Independent Power Producer* (IPP) atau Pembangkit Listrik Swasta. Rencana penambahan kapasitas yang akan dilakukan PLN bersama dengan IPP masih didominasi oleh Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU) Batubara 63,8%, kemudian diikuti oleh³³ Pusat Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) 8,4%, energi terbarukan yang terbesar adalah²⁰ Pusat Listrik Tenaga Air (PLTA) 11,0% dan disusul oleh Pusat Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) 10,2%, sementara sisanya adalah Pusat Listrik Tenaga (PLT) lain seperti PLT sampah dan lain-lain.

²² Energi listrik yang dibangkitkan oleh pembangkit listrik milik PLN maupun²² IPP diupayakan terintegrasi dalam satu jaringan transmisi dan distribusi, sebelum akhirnya energi tersebut sampai ke pelanggan atau konsumen. Oleh karena itu sistem transmisi dan sistem distribusi perlu dilindungi dari dampak buruk yang dapat mengganggu kualitas sistem tenaga listrik. Untuk menghindari hal tersebut, maka¹⁰ PT. PLN (Persero) melalui Keputusan Direksi No. 0357.K/DIR/2014, tanggal 22 Juli 2014 menerbitkan buku pedoman penyambungan Pusat Listrik Energi Baru dan Terbarukan (PLT EBT) ke Sistem Distribusi PLN. Pedoman tersebut akan digunakan oleh PLN dan pengembang PLT-EBT untuk memastikan dan memitigasi resiko gangguan terhadap sistem akibat tersambunganya PLT EBT dan⁵² menjadi dasar penandatanganan Perjanjian Jual Beli Tenaga Listrik (PjBL).

1.2 Tujuan

Tujuan penelitian adalah melakukan kajian dampak sistem distribusi akibat tersambunganya PLTM Palangai Hulu (2 x 4,9 MW) ke sistem distribusi 20 kV PLN, untuk memenuhi persyaratan proses Perjanjian Jual Beli Listrik (PJBL) antara pengembang dengan pihak PLN.

1.3 Permasalahan

Untuk mencapai tujuan di atas maka ada beberapa permasalahan yang harus diselesaikan antara lain;

1. Bagaimana kondisi kelistrikan di Pesisir Selatan ?
2. Dimana titik sambung antara PLTM Palangai Hulu dengan sistem distribusi 20 kV PLN ?
3. Apa dampak sistem sistem distribusi 20 kV Pesisir Selatan setelah PLTM Palangai Hulu Beroperasi ?
4. Berapa daya PLTM Palangai Hulu yang mampu diserap oleh PLN

1.4 Batasan Permasalahan

1. Area kajian dibatasi pada GH distribusi 20 kV di sekitar PLTM Palangai Hulu, yaitu PT. PLN (Persero) Rayon Painan dan Rayon Balai Selasa.
2. Pola operasi sekarang dan data di-Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) dan di-Waktu Beban Puncak (WBP) feeder (penyulang) mengacu pada laporan PLN Rayon Painan dan Rayon Balai Selasa bulan Mei 2014.
3. Penentuan LWBP dan WBP penyulang pada saat PLTM Palangai Hulu beroperasi dihitung menggunakan analisis peramalan beban berdasarkan data pemakaian energi listrik yang terjual oleh PLN Rayon Painan dan Rayon Balai Selasa sejak tahun 2009 sampai tahun 2014 dan diverifikasi dengan informasi petugas PLN di lapangan.
4. Pola operasi yang akan datang (pada saat PLTM Palangai Hulu beroperasi) didasarkan pada informasi Perencanaan pola Penyaluran dan Beban (P2B) PT. PLN (Persero) Wilayah Sumatera Barat.

5. Kajian dititikberatkan pada saat PLTM Palangai Hulu akan paralel dan setelah paralel dengan sistem PLN, dengan mengikutsertakan PLTM yang lebih dahulu PJBL dengan PLN, diprioritaskan beroperasi maksimal.

1.5 Metode Pelaksanaan

Metode pelaksanaan penelitian ²⁹ adalah sebagai berikut:

a. Survei Lapangan

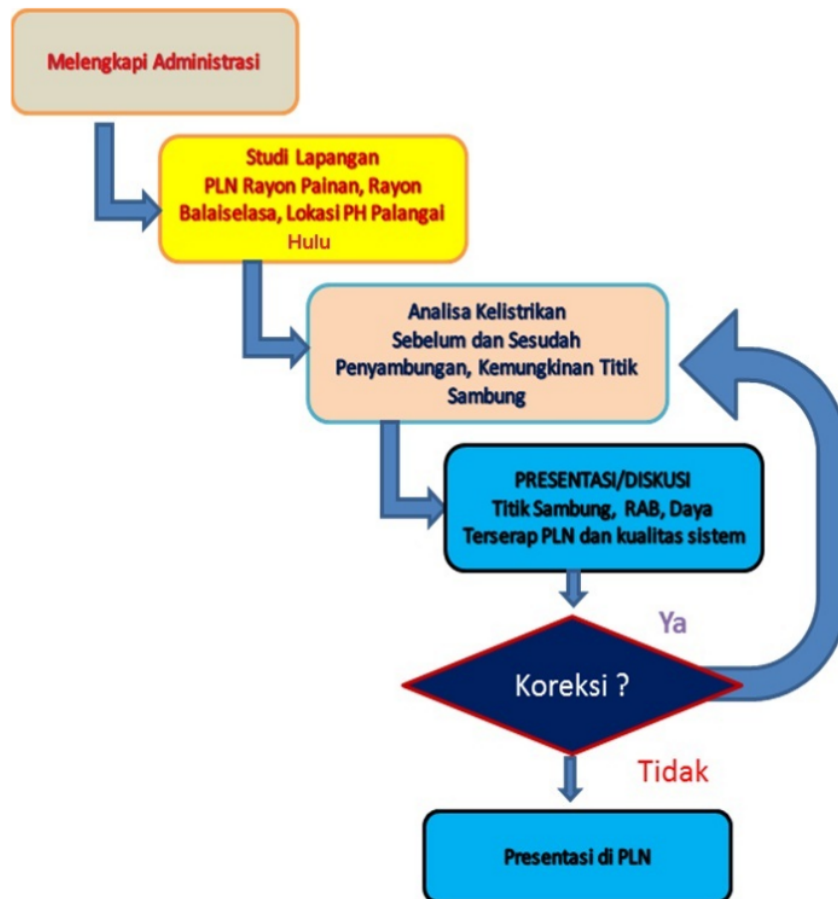
Kegiatan survei lapangan ¹² meliputi pengumpulan data-data yang diperlukan untuk analisis, yaitu data setingan relay, transformator, catatan beban harian *logsheet* untuk setiap penyulang, panjang penyulang, jarak antar Gardu Hubung (GH), WBP, LWBP dan kapasitas beban yang terpasang pada masing-masing GH yang berada di PLN Rayon Painan dan Rayon Balai Selasa. Disamping itu diperlukan juga pola operasi sekarang dan rencana pola operasi yang akan datang.

b. Studi dan Analisa Kajian

- i. Melakukan studi dan kajian kondisi kelistrikan, data beban penyulang (LWBP, WBP), tegangan listrik jaringan distribusi 20 kV dan pola operasi PLN sekarang dan rencana akan datang khususnya Rayon Balai Selasa.
- ii. Menentukan lokasi penyambungan PLTM yang efektif berdasarkan pola operasi dan data beban sekarang dan perkiraan beban untuk 3 tahun yang akan datang menggunakan program aplikasi ETAP. Dengan demikian akan diperoleh daya PLTM yang dapat diserap oleh PLN, beban maksimum penyulang, seting dan koordinasi kerja relay proteksi dan kualitas sistem kelistrikan.
- iii. Analisis, kesimpulan dan saran.

Dalam menganalisis dan menarik kesimpulan, dilakukan koordinasi dan diskusi dengan pihak pengembang sehingga akhirnya diperoleh laporan hasil kajian yang akan dikirim ke PT. PLN (Persero) sebagai salah satu persyaratan PjBL.

Secara ringkas dapat digambarkan diagram alir metode pelaksanaan kajian penyambungan PLTM seperti ditunjukkan pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1. Diagram Alir Metode Pelaksanaan Kajian Penyambungan PLTM

BAB II STUDI SISTEM KELISTRIKAN PLN

2.1 Lokasi dan Data Studi

Secara administratif PLTM Palangai Hulu dengan kapasitas 2 x 4,9 MW berlokasi di PT. PLN Distribusi Wilayah Sumatera Barat pada Area Padang Rayon Balai Selasa. Lokasi PLTM Palangai Hulu terletak pada titik koordinat *Power House* S.01°44'33.3" dan E.100°51'49.6" ⁵ seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1 dan Gambar 2.2.

Metode untuk studi kelistrikan ini meliputi survey dan analisis kondisi kelistrikan ⁶⁰ saat ini dan yang akan datang pada jaringan distribusi 20 kV Rayon Balai Selasa dan Rayon Painan. Survey bertujuan untuk mendapatkan data-data kelistrikan yang sudah ada maupun yang sedang dalam rencana ⁵⁰ PT. PLN (Persero) Distribusi ¹² Wilayah Sumatera Barat pada Area Padang Rayon Balai Selasa. ¹² Data-data yang diperlukan dalam kajian ini meliputi:

1. Data sistem kelistrikan
2. Data beban listrik saat ini
3. Data kebutuhan energi listrik saat ini dan 5 tahun sebelumnya
4. Data pembangkit listrik eksisting
5. Kondisi Jaringan Tegangan Menengah 20 kV eksisting
6. Jarak Jaringan Tegangan Menengah 20 kV eksisting dengan lokasi PLTM



16
 Gambar 2.1 Lokasi Studi PLTM pada Peta Sumatera Barat



Gambar 2.2 Lokasi Studi PLTM pada Kabupaten Pesisir Selatan

2.2 Sistem Kelistrikan Sumatera Barat

Pemenuhan kebutuhan energi listrik di Provinsi Sumatera Barat dilakukan oleh PT. PLN (Persero) Pembangkitan dan Penyaluran (KITLUR) Sumbagsel dan PLN (Persero) Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban (P3B) Wilayah Sumatera. Pembangkit listrik yang dikelola oleh KITLUR umumnya berkapasitas besar, yang terdiri dari PLTA, PLTG, Pusat Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dan PLTU. Unit KITLUR telah dimekarkan untuk efektifitas operasional menjadi:

- a. PT. PLN (Persero) KIT Sumbagsel: mengelola pembangkitan berkapasitas besar untuk wilayah Sumatera bagian Selatan.
- b. PT. PLN (Persero) P3B Sumatera: mengelola penyaluran dan pengaturan beban untuk seluruh wilayah Sumatera. P3B Sumatera juga mengelola beberapa PLTM dibangun oleh perusahaan swasta.

Kebutuhan daya listrik Provinsi Sumatera Barat dalam 5 tahun terakhir tumbuh rata-rata 7,6% per tahun. Kapasitas pembangkit energi listrik yang ada dan akan dikembangkan kiranya mampu memenuhi kebutuhan energi listrik sampai tahun 2022 yang diperkirakan sebesar 5.007 GWh (5.007.048 MWh), atau tumbuh rata-rata 6,7% per tahun. Angka tersebut diperoleh dari data kebutuhan penjualan PLN untuk wilayah Sumatera Barat, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Data Pelanggan PT. PLN (Persero) Wilayah Sumatera Barat Untuk 5 Tahun Terakhir

Tahun	P (kVA)	E (MWh)	Pelanggan
2010	1.008.720	2.187.294	899.597
2011	1.114.962	2.403.090	956.724
2012	1.221.705	2.649.070	1.026.723
2013	1.352.372	2.781.496	1.097.925
2014	1.440.689	3.009.013	1.150.284

2.3 Sistem Kelistrikan Rayon Painan dan Rayon Balai Selasa

Saat ini kondisi kelistrikan di PT. PLN (Persero) Rayon Painan dan Rayon Balai Selasa mendapat pasokan dari sistem interkoneksi 150 kV Sumbagsel melalui GI Bungus menggunakan 2 buah penyulang 20 kV sepanjang 60 kms. Satu dari penyulang tersebut merupakan penyulang langsung (*expres feeder*). Pada GI Bungus terdapat 1 buah Trafo Daya 30 MVA, 150/20 kV. Berdasarkan hasil tinjauan ke lapangan, kualitas tegangan listrik pada Rayon Painan sangat rendah, yaitu pada kondisi LWBP hanya 17,08 kV WBP dan 18,97 LWBP. Hal demikian dikarenakan tingginya drop tegangan pada saluran akibat jauhnya jarak dan besarnya daya yang dievakuasi dari GI Bungus ke GH Painan. Oleh karena itu PLN melakukan penambahan Gardu Induk 150 kV di Kambang yang saat ini masih dalam persiapan operasi. Total beban pada Rayon Painan dan Rayon Balai Selasa tahun 2014 berjumlah sekitar 25 MW yang sebagian dipasok dari PLTD Lunang PLTD Lakuak. Setelah PLTM Palangai Hulu beroperasi diharapkan PLTD Lakuak dapat di non-aktif (*off*) kan karena biaya sewa PLTD ini relatif tinggi atau sekitar Rp. 2.500,-/kWh.

Berdasarkan informasi dari PT. PLN (Persero) Wilayah Sumbar, pada tahun 2018 GI Kambang sudah dioperasikan, sehingga kebutuhan beban untuk Rayon Painan dan Rayon Balai Selasa dipasok dari GI Kambang. Oleh karena itu GH Painan, GH Lakuak dan GH Balai Selasa akan masuk ke dalam subsistem GI Kambang. GI Kambang berada di GH Lakuak yang memiliki satu buah trafo daya 30 MVA, 150 kV/20 kV.

Ditinjau dari segi pengembangan kelistrikan PT. PLN (Persero) dan PLTM Palangai Hulu, berada pada rencana pengembangan sistem Kelistrikan PT. PLN (Persero) Distribusi Wilayah Sumatera Barat pada Area Padang, Rayon Balai Selasa. Kebutuhan energi listrik di Rayon Painan selama 5 tahun terakhir meningkat mencapai rata-rata 6,3% per tahun, sedangkan di Rayon Balai Selasa dalam 5 tahun terakhir meningkat mencapai rata-rata 5,3% per tahun. Angka

tersebut dihitung berdasarkan kebutuhan energi jual PLN Rayon Painan dan Rayon Balai Selasa selama 5 tahun terakhir, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.2 Energi tersebut merupakan akumulasi dari berbagai jenis pelanggan yang dikategorikan sebagai berikut:

1. Pelanggan *Residential*
2. Pelanggan *Commercial*
3. Pelanggan Publik
4. Pelanggan Industri

Tabel 2.2 Kebutuhan Energi Jual (MWh) Rayon Painan dan Rayon Balai Selasa

Tahun	Rayon	Rayon Balai Selasa
	Painan (MWh)	(MWh)
2010	3.006.866	2.007.107
2011	3.402.468	2.228.266
2012	3.619.379	2.347.822
2013	3.850.118	2.473.793
2014	4.095.566	2.606.523

Sejalan dengan rencana PLTM Palangai, di wilayah kabupaten Pesisir Selatan terdapat beberapa PLTM lain sudah lebih dahulu melakukan proses *Power Purchase Agreement* (PPA), telah beroperasi dan sedang mempersiapkan proses PPA seperti ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 PLTM yang Telah diverifikasi PLN Wilayah Sumatera Barat di Kabupaten Pesisir Selatan

No	Nama	P (MW)	Status
1	PLTM Salido Kecil	0,5	Sudah Operasi
2	PLTM Anduriang	2	Sudah PPA
3	PLTM Bayang	4.5	Sudah PPA
4	PLTM Bayang Nyalo	6.6	Proses FS
5	PLTM Taruko	4.2	Proses FS
6	PLTM Karambil	3.5	Proses FS
7	PLTM Pancung Taba	2.3	Proses FS
8	PLTM Tuik	6.3	Sudah PPA
9	PLTM Muaro Sako	3	Sudah PPA

6



15

15

BAB III

ANALISIS STUDI KELAYAKAN PENYAMBUNGAN DAN DAMPAK SISTEM DISTRIBUSI

3.1 Studi Aliran Daya (*Load Flow Study*)

Salah satu kajian yang diperlukan dalam rangka proses penyambungan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan ke jaringan distribusi PLN adalah melakukan kajian dan Analisa Aliran Daya. Kajian ini didasarkan pada Peraturan Direksi PLN No.0357.K/DIR/2014 yaitu untuk meninjau dampak perubahan aliran daya pada sistem distribusi eksisting akibat masuknya pembangkit dengan daya s/d 10 MW.

Tujuan dilakukan studi aliran daya antara lain sebagai berikut :

1. Menentukan kondisi operasi sistem tenaga listrik dalam keadaan *steady state* melalui perhitungan, sehingga diperoleh besaran jatuh tegangan pada setiap penyulang, *level* tegangan pada tiap *bus* serta aliran daya pada penyulang dan percabangannya.
2. Untuk mengetahui tegangan operasional sistem apakah masih dalam *range* standar dalam batas 5% lebih tinggi dan 10% di bawah nilai nominal serta kondisi pembebanan peralatan seperti transformator dan konduktor tidak melampaui batas kemampuannya.
3. Untuk mengidentifikasi kebutuhan daya pembangkitan, keperluan untuk dukungan daya reaktif *Volt Ampere Reactive* (VAR) serta penempatan kapasitor atau reaktor guna mempertahankan sistem tegangan dan faktor daya (PF) sesuai yang disyaratkan.
4. Untuk mengetahui susut teknis tegangan jaringan baik percabangan maupun secara total sesuai dengan pola operasi yang direncanakan.
5. Untuk keperluan pengendalian kondisi sistem termasuk aspek efisiensi pengoperasian saat ini maupun untuk perencanaan kedepan.

3.1.1 PLTM Palangai Hulu Sebelum Paralel dengan Sistem 20 kV GH Balai Selasa Tahun 2018

Dalam kajian aliran daya untuk penyambungan PLTM Palangai Hulu (2 x 4,9) yang direncanakan akan tersambung (*Point of Connection*) ke GH Balai Selasa yang berjarak 8,36 km dari *Power House* PLTM Palangai Hulu. Dalam kajian ini diasumsikan GH Balai Selasa sudah mendapat pasokan dari GI Kambang sementara pasokan dari GI Bungus dilepas. Hal yang perlu dipertimbangkan juga dalam kajian aliran daya adalah masuknya pembangkit PLTM Muara Sako (1 x 3 MW), PLTM Anduring (1 x 2 MW) dan PLTM Salido Kecil (1 x 500 kW) yang sudah PPA terlebih dahulu tergabung dalam subsistem Rayon Balai Selasa. Mengingat PLTM-PLTM tersebut sudah terlebih dahulu melakukan kajian maka diasumsikan akan dioperasikan maksimal.

Langkah pertama yang perlu dilakukan adalah mengetahui besaran tegangan di bus PLTM Palangai Hulu saat akan paralel dengan sistem PLN pada tahun 2018. Melalui simulasi aliran daya menggunakan aplikasi ETAP diperoleh tegangan pada titik sambung PLTM Palangai Hulu 16,85 kV kondisi WBP dan 18,81 kondisi LWBP tahun 2018, seperti ditunjukkan pada Tabel 3.1. Diperlukan tambahan kapasitor di *busbar* Palangai Hulu dan Busbar GH Tapan untuk memperbaiki cosphi sistem. Meskipun demikian, nilai tegangan kondisi WBP masih berada diluar ketentuan PLN untuk melakukan paralel, karena penurunan tegangan di bawah 10% dari nominal 20 kV. Oleh karena itu dilakukan pengaturan tegangan melalui transformator pembangkit jenis *on load tap changer* (OLTC).

**Tabel 3.1 Kondisi Saat PLTM Palangai Hulu akan Paralel dengan Sistem
Distribusi PLN pada Tahun 2018**

Kondisi Sambungan	Status Beban 2018	Tegangan Busbar 20 kV PLTM (kV)	Keterangan	Keterangan Pemakaian Kapasitor	Total Susut Teknis Jaringan (kW)
PLTM Palangai Hulu tersambung ke GH Balai Selasa	WBP	17,40	Tidak Mampu paralel	C. Hulu: 1200 kvar C. Tapan: 1200 kvar	2384
	LWBP	18,87	Mampu paralel	C. Hulu: 600 kvar C. Tapan: 1200 kvar	1109

Berdasarkan hasil simulasi setelah dilakukan perubahan tap *transformator*, maka dapat disimpulkan bahwa PLTM Palangai Hulu bisa paralel dengan sistem distribusi PLN pada kondisi WBP maupun LWBP tahun 2018 dengan menggunakan transformator pembangkit tipe OLTC. Pengaturan OLTC terletak pada sisi primer dengan output 15 kV – 22 kV di sisi sekunder.

3.1.2 PLTM Palangai Hulu Beroperasi dan Tersambung ke GH Balai Selasa Tahun 2018

Setelah PLTM Palangai Hulu paralel dengan sistem distribusi PLN, maka dilakukan Analisa Aliran Daya pada kondisi LWBP dan kondisi WBP tahun 2018. Jumlah beban pada tahun 2018 dihitung berdasarkan *load forecasting analysis*, sehingga diperoleh kenaikan beban puncak pertahun di wilayah Rayon Balai Selasa 5,3%. Dari hasil simulasi diperoleh hasil nilai tegangan bus 20 kV kondisi LWBP seperti ditunjukkan pada Lampiran 3 dan Tabel 3.2. Pada kondisi ini kapasitor di bus kopling Palangai Hulu (C1) 600 kVAR dan kapasitor bus GH Tapan (C2) 0 kVAR.

**Tabel 3.2 Kondisi Tegangan dan Susut Teknis Jaringan Tahun 2018 Kondisi
LWBP di GH Balai Selasa**

No.	Lokasi Bus 20 kV	Nilai Tegangan (kV)	Status LWBP tahun 2018	Total Susut Teknis Jaringan (kW)
1	Bus 20 kV GI Painan	20,64	Masih standar	1061
2	Bus 20 kV GH Anduring	21,31	Masih standar	
			(PLTM Anduring Operasi)	
3	Bus 20 kV GH PLTM Palangai Hulu	21,47	Masih standar	
4	Bus 20 kV GH Lakuak	20,93	Masih standar	
5	Bus 20 kV GH Balai Selasa	20,77	Masih standar	
6	Bus 20 kV GH Air Haji	20,03	Masih standar	
7	Bus 20 kV GH Muara Sako	20,45	Masih standar	
			(PLTM Muara Sako Operasi)	
8	Bus 20 kV GH Indera Pura	19,99	Masih standar	
9	Bus 20 kV GH Tapan	20,45	Masih standar	
10	Bus 20 kV Salido Ketek	21,16	Masih standar	

Dari hasil Analisa Aliran Daya pada saat LWBP tahun 2018 tersebut, PLTM Palangai Hulu (2 x 4,9) dapat dioperasikan maksimal sesuai kapasitas pembangkit yaitu 96,9% seperti Tabel 3.3. Kondisi ini tidak menimbulkan dampak buruk terhadap kualitas sistem kelistrikan PLN Rayon Balai Selasa. Disisi lain terjadi perbaikan tegangan, sehingga hampir semua bus memiliki kualitas tegangan yang masuk dalam batasan standar PLN. Namun energi yang dibangkitkan tergantung kepada kapasitas pembangkit dan ketersediaan energi potensial air.

Selanjutnya dilakukan lagi kajian untuk Analisa Aliran Daya kondisi WBP tahun 2018, yang hasilnya ditunjukkan pada Lampiran 3 dan Tabel 3.5. Kondisi C1= 600 kVAR, C2= 1200 kVAR

Tabel 3.3 Tegangan dan Susut Teknis Tahun 2018 Kondisi WBP di Balai Selasa

No.	Lokasi Bus 20 kV	Nilai Tegangan (kV)	Status WBP tahun 2018	Total Susut Teknis Jaringan (kW)
1	Bus 20 kV GH Painan	19,01	Masih standar	1755
2	Bus 20 kV GH Anduring	20,20	Masih standar	
			(PLTM Anduring Operasi)	
3	Bus 20 kV GH PLTM Palangai Hulu	20,14	Masih standar	
4	Bus 20 kV GH Lakuak	20,68	Masih standar	
5	Bus 20 kV GH Balai Selasa	19,39	Masih standar	
6	Bus 20 kV GH Air Haji	18,19	Masih standar	
7	Bus 20 kV GH Muara Sako	18,98	Masih standar	
			(PLTM Muara Sako Operasi)	
8	Bus 20 kV GH Indera Pura	18,03	Masih standar	
9	Bus 20 kV GH Tapan	18,98	Masih standar	
10	Bus 20 kV Salido Ketek	20,02	Masih standar	

Dari hasil Analisa Aliran Daya pada saat WBP tahun 2018 energi terserap sebesar 95,9% seperti Tabel 3.3, tanpa menimbulkan efek yang dapat merusak kualitas sistem di Rayon Balai Selasa. Di sisi lain terjadi perbaikan tegangan, sehingga hampir semua bus mempunyai kualitas tegangan yang masuk dalam batasan standar PLN.

Untuk mengetahui kondisi pola pengoperasian ²¹ PLTM Palangai Hulu (2 x ³⁵ 4,9 MW) setelah tersambung ke PLN pada LWBP tahun 2018 dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Pola Pengoperasian PLTM Palangai Hulu kondisi WBP dan LWPB tahun 2018

Kondisi Sambungan	Status Beban 2018	Daya Dibangkitkan PLTM Palangai Hulu (MW)	Pf Swing Bus GI Kambang	Pf Rata-rata	Tegangan Busbar 20 kV (POC)	Total Susut Teknis Jaringan (kW)	Keterangan
PLTM Palangai Hulu tersambung ke GH Balai Selasa	WBP	9,8	0,89 lagging	0,93 lagging	19,95	1755	Perlu pengaturan OLTC saat akan paralel. Perlu pengaturan kapasitor Bus Palangai Hulu: 600 kVAR GH Tapan: 1200 kVAR
	LWPB	9,8	0,96 lagging	0,97 lagging	20,77	1061	Perlu pengaturan kapasitor Bus Palangai Hulu: 600 kVAR GH Tapan: 0 kVAR

Berdasarkan hasil analisa aliran daya setelah PLTM Palangai Hulu tersambung pada tahun 2018 serta memperhatikan pola pengoperasiannya, maka prinsipnya PLTM Palangai Hulu dapat dioperasikan dengan daya pembangkitan (2 x 4,9 MW) pada kondisi WBP dan LWPB tanpa menimbulkan dampak negatif terhadap sistem. Terjadi penurunan susut teknis jaringan 26,4%

pada kondisi WBP dan 4,3% pada kondisi LWBP. Jumlah energi PLTM Palangai Hulu yang dapat diserap PLN ditunjukkan pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Serapan Energi PLTM Palangai Hulu Kondisi WBP dan LWBP Tahun 2018

Waktu	Daya diserap PLN (Daya di POC) MW	Energi Pembangkitan (GWh)	Energi di titik sambung (GWh)	Persentase Rugi-Rugi	Persentase Serapan Energi
LWBP 2018	9,5	52.68	51.07	3.1%	96.9%
WBP 2018	9,4	52.68	50.53	4.1%	95.9%
Rata2 2018	9,45	52.68	50.80	3.6%	96.4%

Analisis selanjutnya adalah mengevaluasi pembebanan konduktor yang ada di Rayon Balai Selasa setelah PLTM Palangai Hulu terinterkoneksi dengan sistem 20 kV PLN. Hal ini dimaksudkan untuk memastikan apakah konduktor masih dalam batas pembebanan yang diperbolehkan atau tidak melampaui batas termalnya. Untuk itu dapat digunakan hasil studi aliran daya kondisi WBP tahun 2018 setelah PLTM Palangai Hulu paralel dengan PLN, dengan menampilkan aliran arus setiap pembebanan cabang seperti pada Lampiran 3. Hasil tersebut dibandingkan dengan batasan KHA Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN) 64:85. Dengan demikian dapat diketahui bahwa pembebanan konduktor jaringan yang umumnya menggunakan jenis *All Aluminium Alloy Conductor* A3C dengan penampang 240 mm² dan 70 mm² semuanya masih berada di bawah Kemampuan Hantaran Arus (KHA) berdasarkan Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN) 64:85 seperti pada Tabel 4.2.

Tabel 3.6 Kondisi Pembebanan Konduktor di Subsistem Rayon Balai Selasa Tahun 2018

No.	Lokasi Penyulang	Jenis Konduktor	Pembebanan Maks (A)	KHA (A) sesuai SPLN 64:85
1	Penyulang Ekspres GI Kambang	A3C 240	23,9	Dibawah
2	Penyulang Ekspres Balai Selasa	A3C 240	39,0	Dibawah
3	Penyulang Ekspres Air Haji	A3C 240	228,6	Dibawah
4	Penyulang Palangai Hulu	A3C 240	287,4	Dibawah
5	Penyulang Labuhan	A3C 70	83,6	Dibawah
6	Penyulang Tapan	A3C 240	76,8	Dibawah

3.2 Studi Hubung Singkat (*Short Circuit Study*)

Tujuan utama dilakukan Studi Hubung singkat antara lain :

1. Membuktikan bahwa *rating* kemampuan peralatan pemutus eksisting lebih tinggi dari nilai arus hubung singkat terbesar.
2. Membuktikan bahwa kontribusi arus hubung singkat (AHS) dari PLTM Palangai Hulu lebih kecil 10% dari AHS GI Kambang pada saat gangguan 3 fasa terjadi pada GI Kambang.
3. Memastikan bahwa *rating* ketahanan peralatan *non*-pemutus masih lebih tinggi dari nilai arus hubung singkat yang terjadi.
4. Memberikan dasar perhitungan selektivitas koordinasi peralatan proteksi seperti Pemutus Tenaga (*circuit breaker*), relai dan *fuse* dan lain-lain.
5. Menentukan kemampuan daya tahan peralatan *switching* selama terjadinya hubung singkat.

Analisa Kajian Hubung Singkat diperlukan pada saat masuknya pembangkit energi terbarukan ke sistem distribusi PLN, karena umumnya jenis generator yang digunakan adalah generator sinkron yang merupakan salah satu sumber arus hubung singkat (kecuali untuk pembangkit baru dan tenaga surya yang tidak menggunakan generator sinkron). Sehingga dengan masuknya

pembangkit listrik dengan generator sinkron akan mempengaruhi besaran dan kontribusi arus hubung singkat yang terjadi di jaringan distribusi PLN.

Peninjauan kondisi sistem kelistrikan apabila terjadi hubung singkat dengan memperhitungkan masuknya PLTM Palangai Hulu ke jaringan distribusi 20 kV di subsistem Rayon Balai Selasa, dengan asumsi bahwa pada kondisi WBP tahun 2018 karena arus hubung terbesar diperoleh pada kondisi pembangkitan maksimum. Simulasi pola pengoperasian PLTM Palangai Hulu kondisi WBP tahun 2018 dan kajian hubung singkat dengan jenis gangguan hubung singkat 3-fasa, fasa-fasa dan gangguan 1-fasa ke tanah, diperoleh nilai arus hubung singkat menuju titik sambung seperti pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Nilai Arus Hubung Singkat pada Saat WBP Tahun 2018 di Subsistem Rayon Balai Selasa

Alternatif Sambungan /Pola Pengoperasian	Lokasi Gangguan	20 Gangguan 3-Fasa (kA)	Gangguan Fasa-fasa (kA)	Gangguan 1-Fasa ke tanah (kA)
Tahun 2018	Bus 20 kV GH Painan	0,047	0,041	0,004
	Bus Kopling 20 kV GH PLTM Palangai Hulu	1,070	0,929	0,301
	Bus 20 kV GH Lakuak	0,472	0,413	0,387
	Bus 20 kV GI Kambang	0,472	0	0
	Bus 20 kV GH Balai Selasa	1,060	0,937	1,190
	Bus 20 kV GH Air Haji	0,519	0,455	0,413
	Bus 20 kV Indera Pura	0,329	0,287	0,210
	Bus 20 kV Tapan	0,173	0,174	0,11

Dari hasil Kajian Hubung Singkat tersebut, diperoleh nilai arus hubung singkat terbesar pada gangguan 3-fasa di lokasi busbar 20 kV di Bus Palangai Hulu yaitu sebesar 1,070 kA. Berdasarkan aturan distribusi tenaga listrik (*Distribution Code*) tahun 2009 ditentukan kapasitas hubung singkat peralatan pada sisi tegangan 20 kV maksimum 500 MVA atau 14,4 kA. Sehingga besarnya arus hubung singkat PLTM masih berada dalam batas normal 1,070 kA

Persentasi kontribusi arus hubung singkat (AHS) oleh PLTM Palangai Hulu harus kurang 10% dari AHS GI Kambang. Untuk ditentukan AHS 3 fasa pada GI Kambang

dan AHS yang mengalir dari PLTM Palangai menuju titik sambung. Dari simulasi pengujian hubung singkat ⁵⁸ pada saat terjadi hubung singkat 3 fasa pada GI Kambang diperoleh AHS di GI Kambang 5,39 kA dan kontribusi AHS oleh PLTM Palangai Hulu 0,472 kA. Dengan demikian dapat diperoleh persentasi kontribusi arus hubung singkat (AHS) oleh PLTM Palangai Hulu yaitu 8,7%

¹ SPLN 118-4-1:96 juga telah mengatur mengenai kapasitas pemutusan (*Breaking Capacity*) pemutus tenaga pada kubikel untuk tegangan nominal 20 kV yaitu 12,5 kA. Berdasarkan standar PLN tersebut, maka semua peralatan pemutus tenaga di sisi tegangan 20 kV dipersyaratkan minimal memiliki kemampuan pemutusan sebesar 12,5 kA dan umumnya yang terpasang di Gardu Induk Kambang memiliki kapasitas pemutusan sebesar 25 kA sedangkan semua peralatan pemutus yang terpasang di Gardu Hubung dan jaringan distribusi TM memiliki kapasitas pemutusan sebesar 16 kA atau 12,5 kA sehingga dapat dipastikan dengan hubung singkat terbesar di GH Balai Selasa dan Bus Kopling Palangai Hulu sebesar 1,070 kA. Nilai tersebut masih berada di bawah kemampuan pemutusan Pemutus (PMT) terpasang baik di Gardu Induk Kambang maupun di jaringan distribusi dan gardu hubung, yang berarti PMT terpasang masih aman dan mampu untuk memutus arus hubung singkat tersebut sebagaimana data peralatan pemutus tenaga terpasang di GI Kambang dan gardu-gardu Hubung seperti pada Tabel 3.8.

⁶ Besaran arus gangguan hubung singkat fasa-fasa merupakan arus gangguan hubung singkat fasa yang ¹ terkecil dan digunakan sebagai dasar untuk perhitungan setelan relai arus lebih fasa. Perlu diperhatikan apabila ada nilainya yang lebih rendah daripada arus beban puncak karena dapat menimbulkan permasalahan dalam seting relai arus lebih. Sedangkan arus gangguan 1-fasa ke tanah hanya berasal dari kontribusi GI Kambang dan tidak ada kontribusi dari PLTM Palangai Hulu ¹ karena semua trafo *step up* 10,5/20 KV terhubung ΔY dimana di sisi 20 kV (Y) tidak ditanahkan atau mengambang karena nilai tahanan

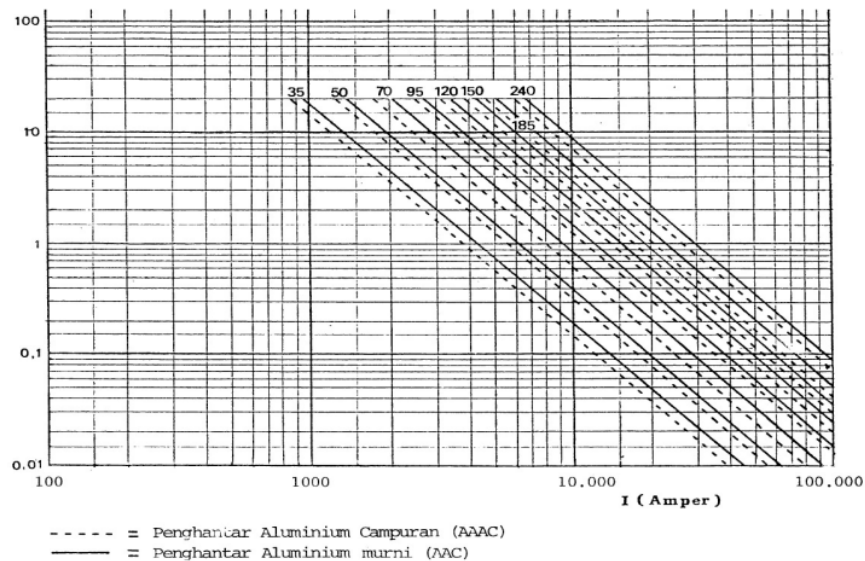
pentanahan *Neutral Grounding Resistance* (NGR) 40 ohm hanya ada di GI Kambang.

Tabel 3.8 Kemampuan Pemutusan PMT di GI Kambang dan Gardu Hubung di Rayon Balai Selasa

No.	PMT	Merk	Insulation Level	Highest Voltage	Nominal Current	Short CCT Breaking Current	Gangguan 3 Fasa terbesar
Gardu Hubung Painan							1,070 kA
1	Inc Trafo sisi 20 kV GH Painan	Vitzro	125 kV	¹⁴ 24 kV	630 A	25 kA	
2	P.Batang Kapas	Vitzro	125 kV	¹⁴ 24 kV	630 A	25 kA	
3	P.Kota	Vitzro	125 kV	¹⁴ 24 kV	630 A	25 kA	
4	P. Rawang	Vitzro	125 kV	¹⁴ 24 kV	630 A	25 kA	
5	P. Utara	Vitzro	125 kV	¹⁴ 24 kV	630 A	25 Ka	
Gardu Hubung Lakuak							
6	P.Air Haji	Scheneider	125 kV	²⁵ 24 kV	630 A	16 kA	
7	P.Lakitan	Scheneider	125 kV	²⁵ 24 kV	630 A	16 kA	
8	INC PLTD	Scheneider	125 kV	²⁵ 24 kV	630 A	16 kA	
9	P.Surantih	scheneider	125 kV	24 kV	400 A	16 kA	
Gardu Hubung Balai Selasa							
10	Incoming	MEIDEN	125 kV	¹⁴ 24 kV	630 A	25 kA	
11	P.Air Haji	MEIDEN	125 kV	¹⁴ 24 kV	630 A	25 kA	
Gardu Hubung Indera Pura							
12	P.M.Sakai	Vitzro	125 kV	¹⁴ 24 kV	630 A	25 kA	
13	P.Sei.Kuyung	Vitzro	125 kV	¹⁴ 24 kV	630 A	25 kA	
14	P.Pasar	Vitzro	125 kV	¹⁴ 24 Kv	630 A	25 kA	

¹ Besaran arus hubung singkat tersebut juga perlu diperhatikan untuk meninjau ketahanan konduktor terhadap tingkat kelelahan karena dialiri arus hubung singkat. Berdasarkan data arus hubung singkat di atas dan dengan memperhatikan kurva ketahanan konduktor A3C (SPLN 64 : 1985) maka semua konduktor A3C 240 dan 70 mm² yang terpasang di Subsistem Rayon Balai Selasa masih relatif aman, karena arus hubung singkat terbesar yang mengalir pada penyulang palangai Hulu saat terjadi gangguan di GH palangai Hulu sebesar 1,060 kA. Pemakaian kawat A3C 240 mm² yang waktu kelelahan konduktor yang

besar dari 30 detik, sehingga diharapkan peralatan proteksi sudah bekerja untuk mengamatkannya. Sedangkan untuk konduktor A3C 70 mm² saat terjadi gangguan 3 fasa pada GH Balai Selasa mempunyai nilai arus sebesar 1,070 kA dengan waktu kelelahan konduktor yang juga lebih besar dari 30 detik. Meskipun demikian relai arus lebih fasa tetap diseting dan sudah harus bekerja dalam waktu 0,05 detik, sehingga dipastikan tidak terjadi kerusakan pada konduktor.



Gambar 3.1 Kurva Kelelahan konduktor A3C dan A2C

3.3 Studi Koordinasi Proteksi (*Protection Coordination Study*)

Masuknya pembangkit listrik tenaga energi terbarukan sampai dengan 10 MW ke sistem distribusi PLN, akan menyebabkan terjadinya perubahan baik besaran (*magnitude*) dan arah dari arus hubung singkat. Hal demikian terjadi karena semua pembangkit listrik energi terbarukan yang terhubung ke sistem merupakan jenis generator sinkron (kecuali pusat listrik tenaga bayu dan pusat listrik tenaga surya) akan memberikan kontribusi arus hubung singkat fasa (3-fasa atau fasa-fasa) ke sistem distribusi PLN, sedangkan untuk arus hubung singkat 1-fasa ke tanah (*ground fault*) sangat tergantung kepada sistem pembumian sisi 20 kV dari trafo *step up* yang ada di lokasi masing-masing pembangkit listrik energi terbarukan tersebut.

Tujuan dilakukan kajian koordinasi proteksi dengan masuknya pembangkit listrik tenaga energi terbarukan ke sistem distribusi PLN adalah untuk meninjau kinerja masing-masing relai proteksi khususnya relai arus lebih fasa dan arus lebih ke tanah. Disamping itu juga diperhitungkan adanya perubahan besaran arus dan arahnya karena adanya kontribusi dari pembangkit listrik tenaga energi terbarukan. Oleh karena itu perlu dicari solusi perbaikan dan penyempurnaannya sehingga relai proteksi yang ada tetap dapat menunjukkan kinerja yang selektif, sensitif dan cepat.

Masuknya PLTM Palangai Hulu pada subsistem Rayon Balai Selasa akan menimbulkan perubahan besaran arus dan arah pada arus hubung singkat untuk jaringan distribusi yang bukan sebagai jaringan radial murni atau jaringan tersebut terhubung ke pembangkit PLTM dan GI. Sebagai konsekuensi dari hal tersebut, maka relai proteksi arus lebih fasa dan arus lebih ke tanah pada jaringan tersebut perlu ditinjau kembali apakah diperlukan penggantian menjadi relai arus lebih fasa dan arus ke tanah yang *directional*.

Peninjauan koordinasi relai proteksi dalam kajian ini terbatas pada lingkup sisi 20 kV di Gardu Induk, di Gardu Hubung atau jaringan distribusi serta pada fasilitas penyambungan atau titik koneksi (*point of connection*). Umumnya trafo *step up* di sisi pembangkit terhubung ΔY dimana sisi 20 kV merupakan Y dan adanya kontribusi arus hubung singkat 1-fasa ke tanah tergantung pada hubungan pembumian titik netral trafo *step up* tersebut. Pada kasus pembangkit listrik energi terbarukan umumnya titik netral sisi 20 kV trafo *step up* tidak dibumikan atau mengambang sehingga tidak ikut memberikan kontribusi terhadap arus hubung singkat 1-fasa ke tanah. Hal tersebut mengacu kepada SPLN 88 : 1991 dan karena pada trafo tenaga di GI Kambang sudah terpasang NGR 40 Ohm sehingga tidak diperlukan lagi penggunaan NGR di lokasi pembangkit dengan maksud agar sistem distribusi 20 kV konsisten dengan pembumian 40 Ohm sehingga besaran arus hubung singkat 1-fasa ke tanah dibatasi maksimum 300 A.

Disamping itu dalam Peraturan Direksi PT. PLN (Persero) No.0357/DIR/2014 ditetapkan bahwa pembangkit listrik energi terbarukan tidak diperkenankan beroperasi terpisah atau *islanding operation* kecuali dalam keadaan darurat berdasarkan keputusan dari pihak PLN. Untuk itu setiap pembangkit listrik energi terbarukan perlu dilengkapi dengan proteksi *anti-islanding* untuk mengamankan apabila pasokan dari PLN terbuka baik karena gangguan atau sebab lain maka dalam waktu maksimum 2 detik pembangkit listrik tenaga energi terbarukan menghentikan pasokannya ke jaringan distribusi PLN. Hal tersebut perlu diperhatikan dalam koordinasi relai proteksi khususnya pada saat terjadi gangguan hubung singkat 1-fasa ke tanah karena tidak ada kontribusi arus gangguan dari pembangkit listrik energi terbarukan dan bila beban di jaringan saat itu masih dapat ditanggung oleh pembangkit maka dapat terjadi *islanding operation* karena relai *ground fault* yang ada di titik sambung tidak akan bekerja.

Tinjauan Koordinasi Proteksi pada saat PLTM Palangai Hulu Tersambung ke PLN, menggunakan data-data setelan relai arus lebih fasa dan relai arus lebih ke tanah yang akan terpasang di GI Kambang, GH yang ada di subsistem Rayon Balai Selasa sebagai referensi awal (lampiran). Relai proteksi yang akan ditambahkan di bus 20 kV PLTM Palangai Hulu yaitu relai arus lebih fasa dan relai arus lebih ke tanah serta relai tegangan dan relai frekuensi sebagai proteksi *anti-islanding* yang akan dipasang di Bus 20 kV PLTM Palangai Hulu. Kajian koordinasi proteksi dilakukan dengan menggunakan Aplikasi ETAP dan sebagai acuan untuk setelan relai arus lebih fasa menggunakan hasil perhitungan arus hubung singkat fasa-fasa sedangkan untuk setelan relai arus lebih 1-fasa ke tanah menggunakan hasil perhitungan arus hubung singkat 1-fasa ke tanah. Untuk mengetahui kedudukan masing-masing relai proteksi dapat dilihat pada *single line diagram* pada lampiran 3.

3.3.1. Gangguan Fasa-Fasa

Tinjauan koordinasi relai pada saat terjadi gangguan fasa-fasa, dilakukan dengan berbagai titik gangguan yakni GH Painan, GH Lakuak (GI Kambang 20 kV), GH Balai Selasa, GH Air Haji, GH Indrapura. Relai disetting dengan baik sehingga mampu mengatasi *islanding operation*, melokalisir gangguan (hanya busbar atau penyulang yang terganggu saja dibebaskan). Hasil kinerja relai proteksi untuk gangguan fasa-fasa dapat dilihat pada Tabel 3. 9 sampai 3. 12.

Tabel 3.9 Kinerja Relai Proteksi Saat Gangguan Fasa-Fasa di Busbar 20 kV GI Kambang

Project:	PLTM Palangai Hulu	ETAP	Page:	1
Location:	Pesisir Selatan	12.6.0H	Date:	22-04-2015
Contract:	Dempo2		SN:	
Engineer:	DR. Hidayat Tanjung	Study Case: SM	Revision:	Base
Filename:	PLTM Palangai Hulu		Config.:	Normal

Sequence-of-Operation Event Summary Report

Symmetrical Line-to-Line Fault at GH Lakuak.

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
100	VR1		100		Undervoltage - 27
100	VR2		100		Undervoltage - 27
100	VR3		100		Undervoltage - 27
183	PMT Anduring		83.0		Tripped by VR3 Undervoltage - 27
183	PMT Hulu		83.0		Tripped by VR1 Undervoltage - 27
183	PMT Salido		83.0		Tripped by VR2 Undervoltage - 27
402	Relay1	5.150	402		Phase - OC1 - 51
485	PMT GI Kambang		83.0		Tripped by Relay1 Phase - OC1 - 51
860	Relay22	0.413	>860		Phase - OC1 - 51
943	PMT Hulu		83.0		Tripped by Relay22 Phase - OC1 - 51

Dari Tabel 3.9 dapat dilihat bahwa tidak terjadi *islanding operation* pada PLTM Palangai Hulu karena relai tegangan VR1 bekerja membuka PMT Palangai Hulu dalam waktu 0,1 detik sehingga pasokan dari PLTM Palangai Hulu terhenti. Demikian juga untuk PLTM yang lainnya, relai *anti islanding operation* (VR2, VR3 dan VR4) bekerja dengan baik sehingga dapat memutus pasokan daya PLTM Anduring, PLTM Salido Kecil, PLTM Sako. Secara bersamaan Relay 1 juga merasakan arus gangguan sebesar 5,15 kA sehingga memerintahkan PMT GI

Kambang membuka pada waktu 0,402 detik. Sistem kelistrikan Rayon Balai Selasa akan mengalami pemadaman total (*black out*)

Kerja relai proteksi untuk gangguan fasa-fasa di bus 20 kV GH Air Haji ditunjukkan pada Tabel 3.10.

Tabel 3.10 Kinerja Relai Proteksi Saat Gangguan Fasa-Fasa di bus 20 kV GH Air Haji

Project:	PLTM Palangai Hulu	ETAP	Page:	1
Location:	Pesisir Selatan	12.6.001	Date:	22-04-2015
Contract:	Dempo2		SN:	
Engineer:	DR. Hidayat Tanjung	Study Case: SM	Revision:	Base
Filename:	PLTM Palangai Hulu		Config:	Normal

Sequence-of-Operation Event Summary Report

Symmetrical Line-to-Line Fault at GH Air Haji.

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
100	VR1		100		Undervoltage - 27
100	VR4		100		Undervoltage - 27
183	PMT Hulu		83.0		Tripped by VR1 Undervoltage - 27
183	PMT Sako		83.0		Tripped by VR4 Undervoltage - 27
616	Relay30	0.876	616		Phase - OC1 - 51
785	Relay29	0.876	785		Phase - OC1 - 51
855	Relay46	0.273	855		Phase - OC1 - 51
868	CB61		83.0		Tripped by Relay29 Phase - OC1 - 51
938	CB79		83.0		Tripped by Relay46 Phase - OC1 - 51

Dari hasil dalam Tabel 3.10, tidak terjadi *islanding operation* pada PLTM Palangai Hulu karena relai tegangan VR1 memerintahkan PMT Palangai Hulu agar membuka pada waktu 0,1 detik. Selanjutnya relai tegangan VR4 membuka PMT Sako pada waktu 0,1 detik. Relay29 dan Relay30 (OCR) merasakan arus gangguan sebesar 0,96 kA, sehingga membuka CB61 dan CB79 yang akhirnya memisahkan lokasi gangguan dengan GH Balai Selasa. Dengan demikian pelayanan beban melalui GH Balai Selasa, GH Lakuak dan GH Painan tetap berjalan.

Kerja relai proteksi untuk gangguan fasa-fasa di bus 20 kV GH Indra Pura ditunjukkan pada Tabel 3.11.

Tabel 3.11 Kinerja Relai Proteksi Saat Gangguan Fasa-Fasa di GH Indra Pura

Project:	PLTM Palangai Hulu	ETAP	Page:	1
Location:	Pesisir Selatan	12.6.0H	Date:	22-04-2015
Contract:	Dempo2		SN:	
Engineer:	DR. Hidayat Tanjung	Study Case: SM	Revision:	Base
Filename:	PLTM Palangai Hulu		Config.:	Normal

Sequence-of-Operation Event Summary Report

Symmetrical Line-to-Line Fault at GH Indra Pura

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
100	VR4		100		Undervoltage - 27
183	PMT Sakko		83.0		Tripped by VR4 Undervoltage - 27
749	Relay46	0.327	749		Phase - OC1 - 51
832	CB79		83.0		Tripped by Relay46 Phase - OC1 - 51
938	Relay30	0.554	938		Phase - OC1 - 51
962	Relay45	0.285	962		Phase - OC1 - 51
1012	Relay37	0.588	1012		Phase - OC1 - 51
1012	Relay38	0.588	1012		Phase - OC1 - 51
1045	CB78		83.0		Tripped by Relay45 Phase - OC1 - 51
1095	CB70		83.0		Tripped by Relay37 Phase - OC1 - 51
1095	CB71		83.0		Tripped by Relay38 Phase - OC1 - 51

Dari Tabel 3.11, terlihat bahwa PLTM Palangai Hulu tetap beroperasi normal, karena *supply* dari GI Kambang tetap normal. Gangguan fasa-fasa yang terjadi pada GH Air Haji diisolasi oleh pemutus CB61 dan CB70 yang digerakkan oleh Relay29 dan Relay37. Pasokan daya dari PLTM Sako diputus oleh VR4 pada waktu 0,01 detik, sehingga tidak terjadi *islanding operation* pada semua PLTM yang ada. GH Balai Selasa, GH Lakuak dan GH Painan tetap beroperasi normal.

Selanjutnya gangguan fasa-fasa pada GH Balai Selasa, yang merupakan GH terdekat dari POC PLTM Palangai Hulu. Koordinasi kerja relai ¹⁸ ditunjukkan pada Tabel 3.12.

Tabel 3.12 Kinerja Relai Proteksi Saat Gangguan Fasa-Fasa pada Bus 20 kV GH Balai Selasa

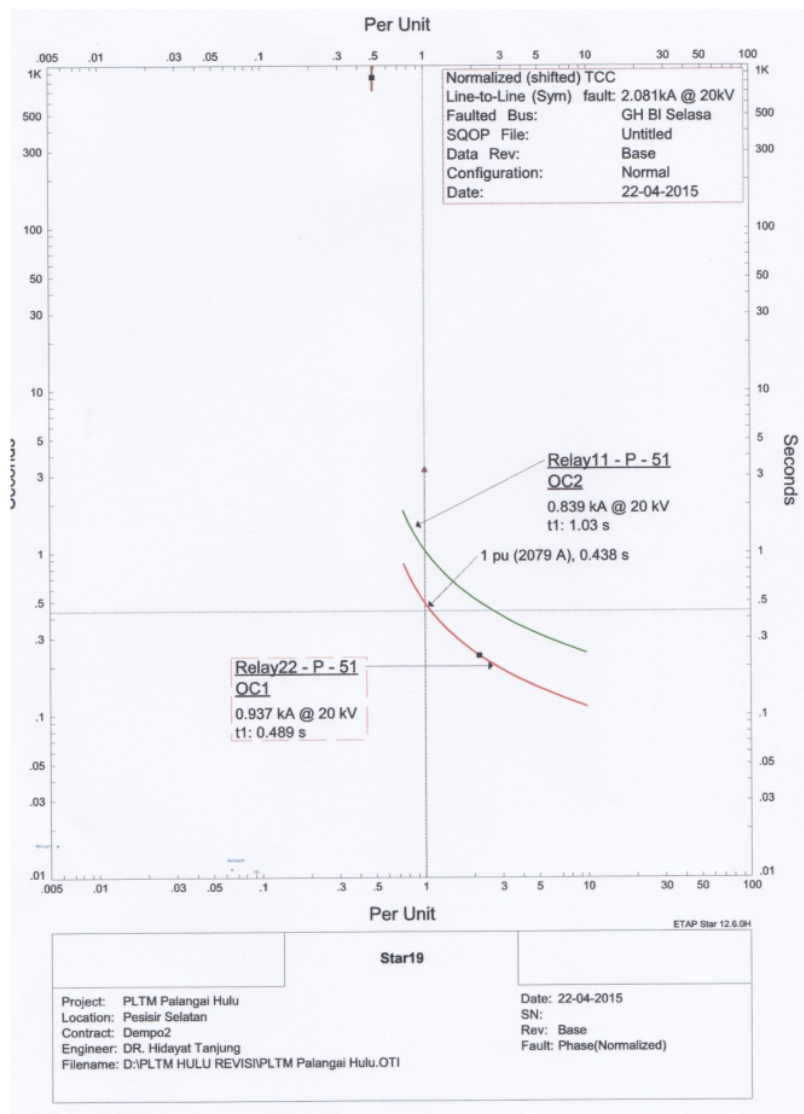
Project:	PLTM Palangai Hulu	ETAP	Page:	1
Location:	Pesisir Selatan	12.6.011	Date:	22-04-2015
Contract:	Dempo2		SN:	
Engineer:	DR. Hidayat Tanjung	Study Case: SM	Revision:	Base
Filename:	PLTM Palangai Hulu		Config.:	Normal

Sequence-of-Operation Event Summary Report

Symmetrical Line-to-Line Fault at GH BI Selasa.

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
100	VR1		100		Undervoltage - 27
183	PMT Hulu		83.0		Tripped by VR1 Undervoltage - 27
489	Relay22	0.937	489		Phase - OC1 - 51
572	PMT Hulu		83.0		Tripped by Relay22 Phase - OC1 - 51
1032	Relay11	0.839	1032		Phase - OC2 - 51
1115	CB20		83.0		Tripped by Relay11 Phase - OC2 - 51
2063	Relay30	0.273	>2063		Phase - OC1 - 51
2122	Relay10	0.839	2122		Phase - OC1 - 51
2205	CB19		83.0		Tripped by Relay10 Phase - OC1 - 51

Dari hasil Tabel 3.12 ditunjukkan bahwa tidak terjadi *islanding operation* pada PLTM Palangai Hulu karena relai tegangan VR1 bekerja membuka PMT Palangai Hulu dalam waktu 0,1 detik sehingga pasokan dari PLTM Palangai Hulu terhenti. Relay 11 (OC) merasakan arus gangguan 0,839 kA yang memerintahkan CB20 membuka, sehingga mampu memisahkan zona gangguan pada waktu 1,032 detik. GI Kambang tetap memberi pasokan daya untuk GH Lakuak dan GH Painan, sehingga PLTM Anduring dan PLTM Salido Kecil tetap beroperasi. Kurva TOC relai 22 dan relay 11 saat gangguan fasa-fasa di bus terdekat (GH Balai Selasa) dengan POC PLTM Palangai Hulu.



Gambar 3.2 Kurva TOC Relay 11, Relay 22 Saat Gangguan Fasa ke Fasa pada Busbar 20 kV GH Balai Selasa

29 3.3.2. Koordinasi Relai Saat Gangguan 1 Fasa ke Tanah

1 Untuk gangguan 1 fasa ketanah, maka kontribusi arus hubung singkat fasa ke tanah hanya berasal di GI Kambang dan tidak ada kontribusi 11 arus hubung singkat ke tanah dari PLTM Palangai Hulu karena trafo *step up* di pembangkit tersebut pada sisi 20 kV (sisi Y) tidak dibumikan atau mengambang. Karena hanya

pada trafo I 60 MVA 150/20 kV di GI Kambang yang terhubung dengan NGR 40 ohm. Hal yang perlu diwaspadai apabila terputusnya sambungan antara GI Kambang dan PLTM Palangai Hulu sehingga operasi terpisah antara keduanya, maka pasokan yang berasal dari GH Balai Selasa dan PLTM Palangai Hulu akan beroperasi dengan sistem pembumian mengambang sehingga relai arus lebih ke tanah tidak akan bekerja apabila terjadi gangguan 1 fasa ke tanah pada jaringan distribusi yang dipasok dari kedua pembangkit tersebut. Untuk mengetahui kinerja relai proteksi pada saat gangguan 1 fasa ke tanah dilakukan simulasi ETAP seperti dapat dilihat pada Tabel 3.13 sampai Tabel 3.16 berikut ini.

Tabel 3.13 Kinerja Relai Proteksi Saat Gangguan fasa ke Tanah di Busbar 20 kV GI Kambang/GH Lakuak

Project:	PLTM Palangai Hulu	ETAP	Page:	1
Location:	Pesisir Selatan	12.6.011	Date:	22-04-2015
Contract:	Dempo2		SN:	
Engineer:	DR. Hidayat Tanjung	Study Case: SM	Revision:	Base
Filename:	PLTM Palangai Hulu		Config:	Normal

Sequence-of-Operation Event Summary Report

Symmetrical Line-to-Ground Fault at GH Lakuak.

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
75.8	Relay1	7.007	75.8		Ground - OC1 - 51
100	VR1		100		Undervoltage - 27
100	VR2		100		Undervoltage - 27
100	VR3		100		Undervoltage - 27
159	PMT GI Kambang		83.0		Tripped by Relay1 Ground - OC1 - 51
183	PMT Anduting		83.0		Tripped by VR3 Undervoltage - 27
183	PMT Hulu		83.0		Tripped by VR1 Undervoltage - 27
183	PMT Salido		83.0		Tripped by VR2 Undervoltage - 27

Dari hasil Tabel 3.13, tidak terjadi *islanding operation* pada PLTM Palangai Hulu karena relai tegangan VR1 sebagai *anti islanding* bekerja dalam waktu 0,1 detik sehingga pasokan dari Palangai Hulu terhenti. Relay1 (OCR) merasakan arus gangguan sebesar 7,007 kA sehingga memerintah PMT GI Kambang. Demikian juga untuk PLTM yang lainnya, relai *anti islanding operation* (VR2 dan VR3) bekerja dengan baik sehingga dapat memutus pasokan daya PLTM Anduring, PLTM Salido Kecil.

Selanjutnya diberi gangguan fasa ke tanah pada GH Air Haji. Koordinasi kerja relai ditunjukkan pada Tabel 3.14.

Tabel 3.14 Kinerja Relai Proteksi Saat Gangguan fasa ke Tanah di Busbar 20 kV GH Air Haji

Project:	PLTM Hilir	ETAP	Page:	1
Location:	Pesisir Selatan SUMBAR	12.6.001	Date:	20-04-2015
Contract:	Dumopo		SN:	
Engineer:	DR. Hidayat Tanjung	Study Case: SM	Revision:	Base
Filename:	PLTM Hilir		Config.:	Normal

Sequence-of-Operation Event Summary Report

Symmetrical Line-to-Ground Fault at GH Air Haji.

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
10.0	Relay30	0.618	<10.0		Ground - OC1 - 51
10.0	Relay45	0.310	<10.0		Ground - OC1 - 51
20.0	CB78		10.0		Tripped by Relay45 Ground - OC1 - 51
37.7	Relay38	0.310	37.7		Ground - OC1 - 51
47.7	CB71		10.0		Tripped by Relay38 Ground - OC1 - 51
100	VR4		100		Undervoltage - 27
110	PMT Sakko		10.0		Tripped by VR4 Undervoltage - 27
439	Relay29	0.618	439		Ground - OC1 - 51
449	CB61		10.0		Tripped by Relay29 Ground - OC1 - 51

Dari Tabel 3.14, terlihat bahwa PLTM Palangai Hulu tetap beroperasi normal, karena gangguan cepat diisolasi yaitu dengan membuka pemutus-pemutus pada penyulang yang menuju titik gangguan (GH Air Haji) yaitu CB78, CB71 dan CB61. Sementara tidak terjadi *islanding operation* pada PLTM Sako karena relai tegangan VR4 memerintahkan PMT Sako agar membuka pada waktu 0,83 detik.

Tabel 3.15 Kinerja Relai Proteksi Saat Gangguan Fasa ke Tanah pada Busbar 20 kV GH Indera Pura

Project:	PLTM Hilir	ETAP	Page:	1
Location:	Pesisir Selatan SUMBAR	12.6.0H	Date:	20-04-2015
Contract:	Dempo		SN:	
Engineer:	DR. Hidayat Tanjung	Study Case: SM	Revision:	Base
Filename:	PLTM Hilir		Config:	Normal

Sequence-of-Operation Event Summary Report

Symmetrical Line-to-Ground Fault at GH Indra Pura.

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
45.9	Relay30	0.282	45.9		Ground - OC1 - 51
45.9	Relay38	0.282	45.9		Ground - OC1 - 51
46.7	Relay45	0.475	46.7		Ground - OC1 - 51
100	VR4		100		Undervoltage - 27
129	CB71		83.0		Tripped by Relay38 Ground - OC1 - 51
130	CB78		83.0		Tripped by Relay45 Ground - OC1 - 51
183	PMT Sakko		83.0		Tripped by VR4 Undervoltage - 27
860	Relay29	0.282	>860		Ground - OC1 - 51
943	CB61		83.0		Tripped by Relay29 Ground - OC1 - 51
1164	Relay37	0.282	1164		Ground - OC1 - 51
1247	CB70		83.0		Tripped by Relay37 Ground - OC1 - 51

Dari hasil Tabel 3.15, tidak terjadi *islanding operation* pada PLTM Palangai Hulu, karena gangguan cepat diisolasi yaitu dengan membuka pemutus-pemutus pada penyulang yang menuju titik gangguan (GH Indera Pura) yaitu CB78, CB71 dan CB61. Sementara tidak terjadi *islanding operation* pada PLTM Sako karena relai tegangan VR4 memerintahkan PMT Sako agar membuka pada waktu 0,83 detik.

Selanjutnya diberi gangguan fasa-fasa pada GH Balai Selasa, yang merupakan GH terdekat dari POC PLTM Palangai Hulu. Koordinasi kerja relai ditunjukkan pada Tabel 3.16.

Tabel 3.16 Kinerja Relai Proteksi Saat Gangguan Fasa ke Tanah pada Busbar 20 kV GH Balai Selasa

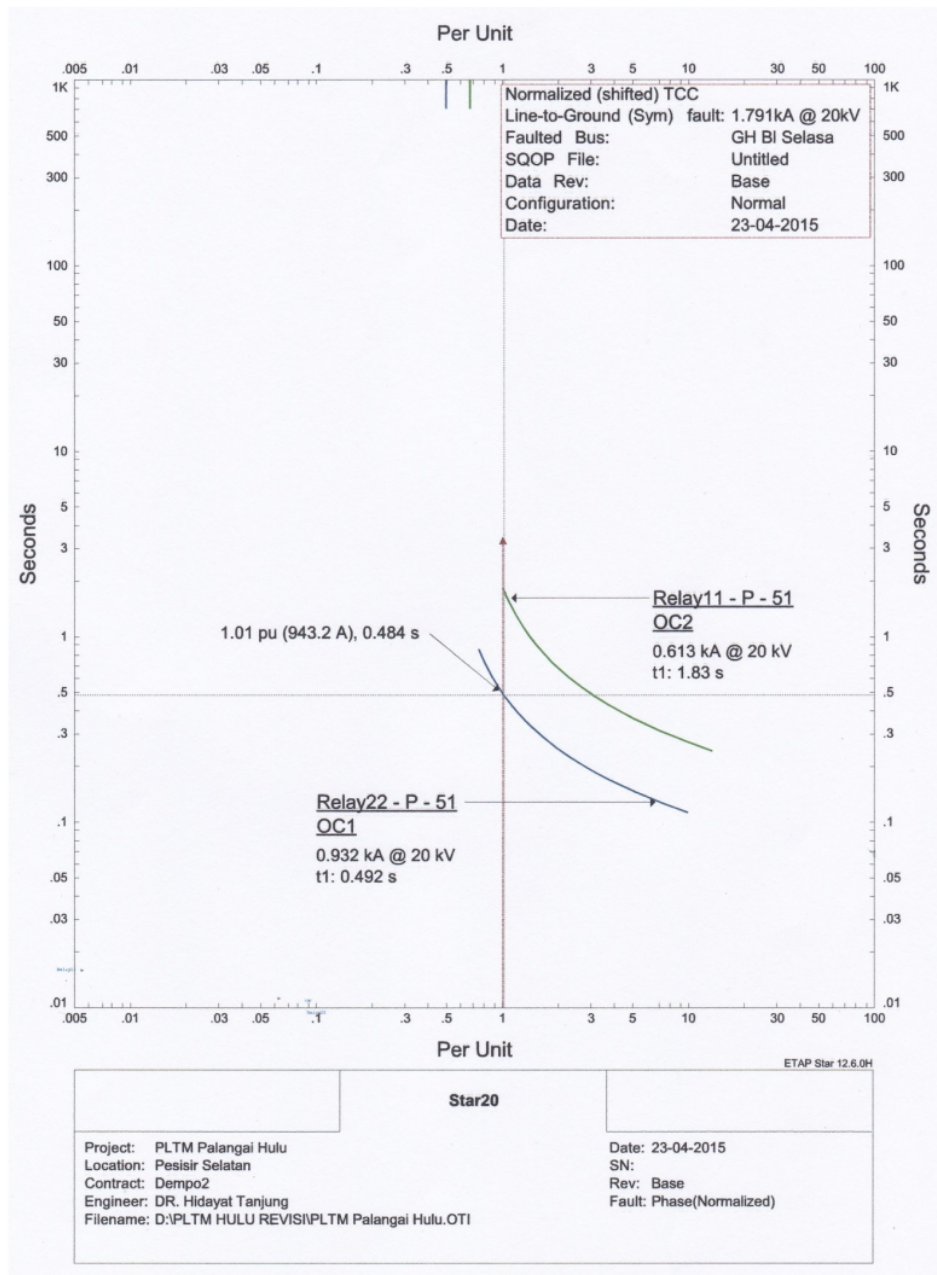
Project:	PLTM Hilir	ETAP	Page:	1
Location:	Pesisir Selatan SUMBAR	12.6.011	Date:	20-04-2015
Contract:	Dempo		SN:	
Engineer:	DR. Hidayat Tanjung	Study Case: SM	Revision:	Base
Filename:	PLTM Hilir		Config:	Normal

Sequence-of-Operation Event Summary Report

Symmetrical Line-to-Ground Fault at GH BI Selasa.

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
99.8	Relay30	0.192	99.8		Ground - OC1 - 51
99.8	Relay38	0.192	99.8		Ground - OC1 - 51
100	VR1		100		Undervoltage - 27
183	CB71		83.0		Tripped by Relay38 Ground - OC1 - 51
183	PMT Hulu		83.0		Tripped by VR1 Undervoltage - 27
303	Relay45	0.192	303		Ground - OC1 - 51
386	CB78		83.0		Tripped by Relay45 Ground - OC1 - 51
492	Relay22	0.932	492		Phase - OC1 - 51
575	PMT Hulu		83.0		Tripped by Relay22 Phase - OC1 - 51
747	Relay11	0.405	747		Ground - OC2 - 51
830	CB20		83.0		Tripped by Relay11 Ground - OC2 - 51

Dari hasil Tabel 3.16, tidak terjadi *islanding operation* pada PLTM Palangai Hilir karena relai tegangan VR1 bekerja membuka PMT Palangai Hulu dalam waktu 0,83 detik sehingga pasokan dari PLTM Palangai Hulu terhenti. Gangguan diisolasi oleh relay11 dengan membuka CB20, sehingga penyulang dari GH Balai Selasa menuju GI Kambang lepas. Pasokan daya di GH Kambang dan Painan berjalan normal. Pada kurva TOC terlihat relay 22 merasakan arus gangguan 1,060 kA sehingga membuka PMT Palangai Hulu dan lokasi pasokan daya dari Palangai Hulu terhenti.



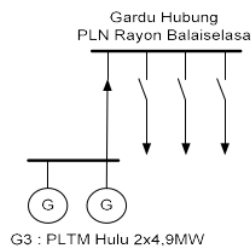
Gambar 3.3 Kurva TOC Relay 11 dan Relay 22 Saat Gangguan Fasa ke Tanah di Bus GH Balai Selasa

BAB IV STUDI FASILITAS DISTRIBUSI

Dengan telah selesainya kajian tentang Perencanaan Pembangunan PLTM Palangai Hulu, maka diperlukan penetapan titik transaksi energi listrik yang dibangkitkan oleh PLTM dengan pihak ⁴⁵Perusahaan Listrik Negara, PT. PLN (Persero) Wilayah Sumatera Barat. Penetapan titik transaksi energi listrik ini berkaitan dengan beberapa faktor teknis, diantaranya; perencanaan sistem distribusi, sistem proteksi, sistem interkoneksi, rugi-rugi daya yang pada gilirannya akan berpengaruh terhadap nilai investasi dan kajian ekonomis PLTM. Disamping faktor teknis tersebut penetapan titik transaksi dan sistem distribusi juga terkait dengan faktor non teknis, seperti pembebasan area di sepanjang saluran distribusi.

4.1 Pemilihan Komponen SUTM 20 kV

Dari data hasil survey dan analisis disimpulkan titik transaksi PLTM Palangai Hulu berada pada ujung SUTM 20 kV GH Balai Selasa. Diagram segaris PLTM Palangai Hulu ditunjukkan ⁶pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Diagram Segaris PLTM Palangai Hulu

Penyaluran daya listrik yang dialirkan dari PLTM ke pemakai dalam hal ini PT. PLN (Persero) atau GH yang dibangun untuk meletakkan panel pengukur energi listrik, *Kilo Watt Hour* (kWh meter) dalam hal ini disebut sebagai "Titik Transaksi", mengalami rugi-rugi ³(jatuh) tegangan dan rugi-

rugi energi. Hal ini disebabkan karena pada jaringan distribusi terdapat impedansi. Dari sifat internal jaringan ini penghantar akan menimbulkan panas pada saat jaringan di aliri arus listrik.

³ Kerugian akibat panas, jika suatu penghantar dialiri arus listrik secara terus – menerus akan menimbulkan panas, panas ini akibat adanya unsur tahanan penghantar. Semakin lama dan semakin besar arus listrik mengalir pada penghantar ³ maka semakin panas penghantar tersebut dan semakin banyak energi listrik yang hilang akibat energi tersebut berubah menjadi panas. Hal inilah yang merugikan suatu pembangkit tenaga listrik.

Kerugian akibat jarak (panjang saluran) juga berpengaruh terhadap rugi-rugi energi. semakin jauh jarak antara pembangkit dan titik transaksi akan mengakibatkan semakin besar jatuh tegangan pada ujung saluran. Oleh karena itu, untuk memperkecil rugi-rugi akibat penyaluran energi listrik melalui saluran udara tegangan menengah (SUTM), perlu dilakukan kajian dan analisis untuk mendapatkan parameter SUTM secara optimal.

4.1.1 Kawat Penghantar

Pada studi ini, dengan beberapa alasan teknis penghantar SUTM yang digunakan adalah jenis *All Aluminium Alloy Conductor* (AAAC) atau disebut juga A3C.



Gambar 4.2 Penghantar A3C untuk SUTM 20kV

A. Analisis Jatuh Tegangan

- a. ⁹ Jatuh tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar.

- b. Jatuh tegangan atau jatuh tegangan pada saluran tenaga listrik secara umum berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban serta berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar.
- c. Besarnya jatuh tegangan dinyatakan baik dalam % atau dalam besaran Volt. Besarnya batas atas dan bawah ditentukan oleh kebijaksanaan perusahaan kelistrikan (PT. PLN).
- d. Perhitungan jatuh tegangan praktis pada batas-batas tertentu dengan hanya menghitung besarnya tahanan masih dapat dipertimbangkan, namun pada sistem jaringan khususnya pada sistem tegangan menengah masalah induktansi dan kapasitansinya diperhitungkan karena nilainya cukup berarti.

Definisi simbol dan Satuan;

- ²
P: daya aktif, watt [MW]
- V: tegangan kerja antar fasa, volt [kV]
- R: tahanan penghantar [ohm/km]
- X: reaktansi penghantar [ohm/km]
- φ: beda fasa [derajat]
- ⁴
q: penampang saluran [mm²]
- Δv: jatuh tegangan [volt]
- Δu: jatuh tegangan [%]
- L: panjang [kms]
- ⁴
I: arus beban [A]
- λ: konduktivitas bahan, (Untuk aluminium = 32,7)

Perhitungan Jatuh Tegangan:

$$q = \frac{1,73 \times L \times I \cos \phi}{\Delta v \times \lambda} [mm^2] \dots\dots\dots (1)$$

$$\Delta v = \frac{1,73 \times L \times I \cos \phi}{q \times \lambda} [\text{volt}] \dots\dots\dots (2)$$

Bila diketahui besar daya yang akan dialirkan (watt) dan jatuh tegangan yang diizinkan, maka;

$$q = \frac{L \times P}{V \times \Delta v \times \lambda} [mm^2] \dots\dots\dots (3)$$

B. Momen Listrik

Jatuh tegangan relatif; $\frac{\Delta u}{u} = 10^2 \frac{R+X \tan \phi}{u^2} PL [\%]$

Hasil kali P dan L dinamakan momen listrik dengan P daya listrik dan L jarak pembangkit ke titik transaksi. Jika jatuh tegangan dalam % sebesar 1% maka momen listriknya disebut M_1 .

Momen Listrik, $M_1 = \frac{1}{100} \times \frac{v^2}{R+X \tan \phi} \dots\dots\dots (4)$

Daftar momen listrik (M) untuk berbagai nilai $\cos \phi$, luas penampang saluran seperti pada tabel berikut;

Tabel 4.1 Momen Listrik Jaringan SUTM dengan Penghantar AAAC, M_1 1% [MW.km]

Penampang (mm ²)	Cos ϕ						
	1	0.95	0.9	0.85	0.8	0.7	0.6
35	4	3.6	3.4	3.3	3.2	2.9	2.7
70	7.7	6.3	5.8	5.4	5.2	4.6	4
150	12.1	11.5	10	8.9	8	6.8	5.7
240	16.77	15	12.5	10.9	9.7	7.9	6.5

⁶C. Faktor Distribusi (Fd) Beban.

Distribusi beban pada jaringan dapat dinyatakan dalam bentuk matematis untuk beban diujung penghantar, beban terbagi merata, beban terbagi berat di awal jaringan, beban terbagi berat di ujung. Dengan pengertian sederhana didapatkan angka faktor distribusi beban pada jarak antara titik berat beban dengan pembangkit.

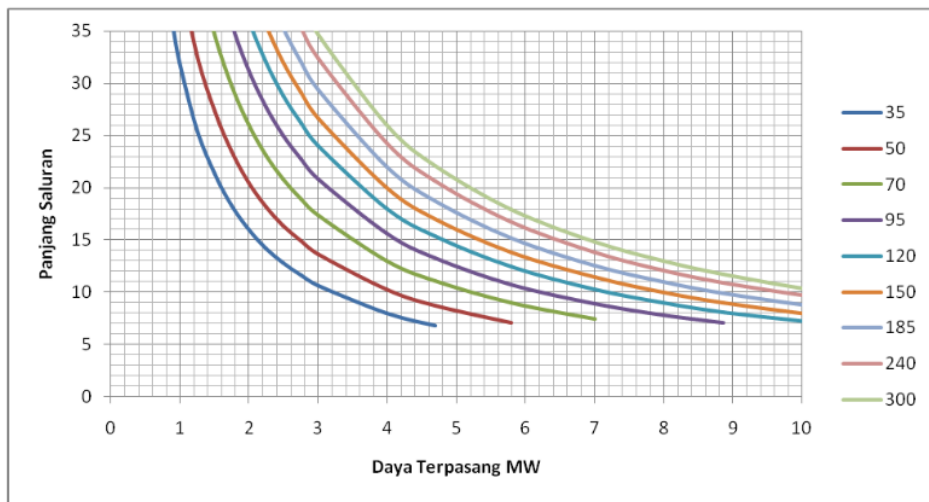
- ³1. Beban diujung penghantar, $F_d = 1$
2. Beban merata disepanjang saluran, $F_d = 0,5$
3. Beban lebih banyak di ujung, $F_d = 2/3$
4. Beban lebih berat di arah sumber, $F_d = 1/3$

Perhitungan jatuh tegangan untuk kondisi beban diujung penghantar (dari PLTM ke Titik Transaksi), dapat menggunakan persamaan berikut;

$$\Delta v = \frac{P}{\sqrt{3}} (r + x \tan \phi) \cdot \left[\frac{\text{ohm}}{\text{km}} \right] \dots\dots\dots (5)$$

¹²Persamaan tersebut memberikan hubungan antara jatuh tegangan Δv , daya P, dan panjang penghantar L.

⁴Gambar 4.3 memberikan gambaran untuk hubungan parameter-parameter tersebut, sehingga memudahkan dalam penentuan luas penampang penghantar untuk menyalurkan daya tertentu.



Gambar 4.3 Pemilihan Ukuran Kawat Penghantar SUTM 20 kV dengan drop Tegangan 10%

D. Kemampuan Hantar Arus (KHA)

Kemampuan Hantar Arus (menurut SNI 04-0225-2000) atau Kuat Hantar Arus (menurut SPLN 70-4 : 1992) suatu penghantar di batasi dan ditentukan berdasarkan batasan-batasan dari aspek lingkungan, teknis material serta batasan pada konstruksi penghantar tersebut yaitu :

- Temperatur lingkungan
- Jenis penghantar
- Temperatur lingkungan awal
- Temperatur penghantar akhir
- Batas kemampuan termis isolasi
- Faktor tiupan angin
- Faktor disipasi panas media lingkungan

Apabila terjadi penyimpangan pada ketentuan batasan tersebut di atas maka KHA penghantar harus dikoreksi. Ketentuan teknis kemampuan hantar arus penghantar pada ambient temperatur 30° C dalam keadaan

tanpa angin. Tabel berikut memberikan daftar kemampuan hantar arus jenis penghantar AAAC.

Tabel 4.2 KHA Penghantar AAAC² pada Suhu Keliling 35°C , Kecepatan Angin 0,6 M/Detik (Pada Suhu Maksimum 80°C Tanpa Angin Faktor Koreksi 0.7)

Luas Penampang (mm ²)	KHA AAAC (A)	KHA AAC (A)
16	105	110
25	135	145
35	170	180
50	210	225
70	255	270
95	320	340
120	365	390
150	425	455
185	490	520
240	585	625

4.1.2⁴ Tiang

Tiang pada jaringan distribusi tenaga listrik berfungsi sebagai tumpuan penghantar, menerima gaya-gaya mekanis akibat:

1. Berat penghantar dan peralatan
2. Gaya tarik dari penghantar (*tensile strength*)
3. Tiupan angin
4. Akibat penghantar lain

Besarnya gaya-gaya tersebut berbeda sesuai dengan fungsi tiang (tiang awal/ujung, tiang tengah, tiang sudut) dan luas penghantar. Tiang besi atau tiang beton mempunyai kekuatan tarik (*working load*) sesuai standar yang berlaku saat ini, yaitu 160 daN, 200 daN, 350 daN, 500 daN, 800 daN, 1200 daN dimana daN adalah dekaNewton atau setara dengan 1,01 kg gaya (massa x gravitasi).

Tabel 4.3³ memberikan hasil hitungan gaya mekanik pada tiang untuk berbagai luas dan jenis penghantar dan pada dua posisi tiang, tiang awal/akhir dan tiang sudut. Kekuatan tiang (*working load*) mengikuti standarisasi yang sudah ada yaitu 160 daN, 200 daN, 350 daN, 500 daN, 800 daN. Untuk panjang 9 m, 11 m, 12 m, 13 m, 14 m, dan 15 m baik tiang besi atau tiang beton. Tiang mempunyai tingkat keamanan 2, yaitu baru akan gagal fungsi jika gaya mekanis melebihi $2 \times \text{working load}$ ($\text{breaking load} = 2 \times \text{working load}$). Kekuatan tarik mekanis dihitung pada ikatan penghantar 15 cm di bawah puncak tiang. Tidak diperhitungkan perbedaan momen tarik untuk berbagai titik ikatan penghantar pada tiang (contoh *underbuilt*). Jika konstruksi *underbuilt*, maka gaya mekanis yang diterima tiang adalah jumlah aljabar gaya mekanis akibat sirkit penunjang tunggal.

Tabel 4.3 Gaya Mekanis pada Tiang Awal dan Ujung

No	Penampang	Massa	d	F1	F2	F
	[mm ²]	⁴ [kg/m]	[m]	[daN]	[daN]	[daN]
1	² 3 x 35	0,28	0,008	62	21,6	65
2	3 x 70	0,63	0,011	139	29,7	142
3	3 x 150	1,22	0,016	269	45	273
4	3 x 240	1,88	0,019	414	243	480

Dengan,

- Temperatur 30°C

- Jarak gawang L, 45 meter,
- Panjang andongan 1 meter
- Koefisien muai panjang 23×10^{-6} per $^{\circ}$ C
- Tekanan angin 40 daN/m²
- Gravitasi $g = 9.8$

$$F_1 = \text{massa} \times g \times L/2$$

$$F_2 = \text{tekanan angin} \times d \times L/2$$

Tabel 4.4 Gaya Mekanis Maksimum pada Tiang Sudut

No	Penampang	Gaya Mekanis Resultan Maksimum			
	[mm ²]	$\alpha = 30^{\circ}$	$\alpha = 45^{\circ}$	$\alpha = 60^{\circ}$	$\alpha = 90^{\circ}$
1	3 x 35	34	50	65	92
2	3 x 70	64	109	142	200
3	3 x 150	141	208	273	384
4	3 x 240	248	367	480	678

1. Penggunaan Hasil Perhitungan Dalam Konsep Perencanaan

Mengingat perkembangan beban pelanggan dan lain-lain, kekuatan hasil perhitungan dikalikan 2, untuk mengantisipasi penambahan jalur jaringan distribusi dari tiang awal yang sama. Tabel pada halaman berikut memberikan angka kekuatan tiang berdasarkan jenis penghantar dan sudut lintasan. Khusus untuk Tiang Akhir atau Tiang Sudut sejauh memungkinkan, dipergunakan tiang dengan kekuatan tarik lebih kecil, namun ditambah konstruksi Topang Tarik (*guy wire*/trekskur).

Tabel 4.5 Kekuatan Tarik Tiang Awal/Ujung untuk Penghantar AAAC

No	Penghantar	Kekuatan tiang [daN]					Alternatif
	[mm ²]	200	350	500	800	1200	pilihan
1	3 x 35	x					+ GW
2	3 x 50	x					200 + GW
3	3 x 70		x				200 + GW
4	3 x 150			x			350 + GW
5	3 x 240		2x				350 + GW
6	2x(3 x 150)		2x				350 + GW
7	2x(3 x 240)		2x				350 + GW

Tabel 4.6 Kekuatan Tarik Tiang Sudut untuk Penghantar AAAC + LVTC

No	Penghantar	Sudut Deviasi	Kekuatan tiang [daN]					Alternatif
	[mm ²]		200	350	500	800	1200	Pilihan
1	A3C 3x70 +	0° – 15°						+ GW
	LVTC 3x70/N	15° – 30°	x					200 + GW
		30° – 45°	2x					200 + GW
		45° – 60°	2x					200 + GW
2	A3C 3x150 +	0° – 15°						+ GW
	LVTC 3x70/N	15° – 30°	x					+ GW
		30° – 45°		x				350 + GW
		45° – 60°	2x					350 + GW
3	A3C 3x240 +	0° – 15°						+ GW
	LVTC 3x70/N	15° – 30°	x					+ GW
		30° – 45°	2x					350 + GW
		45° – 60°	2x					350 + GW
4	A3C 3x150	0° – 15°						+ GW
	Ganda	15° – 30°	2x					+ GW
		30° – 45°		2x				350 + GW
		45° – 60°		2x				350 + GW
5	A3C 3x240 +	0° – 15°						+ GW
	Ganda	15° – 30°	x					+ GW
		30° – 45°		2x				350 + GW
		45° – 60°		2x				350 + GW

GW = Guy Ware, 2x = tiang ganda

2. Beban Mekanik Pada Palang (cross arm/travers)

Palang (*Cross Arm*) adalah tempat dudukan isolator. Beban mekanis pada palang arah horizontal akibat dari gaya regangan penghantar dan beban vertikal akibat berat penghantar. Umumnya beban vertikal diabaikan. Bahan palang adalah besi (ST.38) profil UNP galvanis dengan panjang berbeda.

Tabel 4.7 Karakteristik Palang

Profil	Panjang [m]	Penempatan	Deviasi
UNP 8	1,6	Tiang Tumpu	
UNP 10	1,8	Tiang Tumpu, Tiang awal/akhir	
UNP 10	2	Tiang Tumpu, Tiang sudut *)	
UNP 15	2,4	Tiang Tumpu*), Tiang Sudut, Tiang awal/akhir	
UNP 15	2,8	Tiang Tumpu, Tiang Sudut*), Tiang awal/akhir	

*) dapat memakai *cross* arus ganda untuk tiang awal

4.1.3 Komponen pendukung

Komponen pendukung SUTM seperti, Isolator, Arester dan komponen pendukung lainnya digunakan sesuai keperluan berdasarkan standar yang dikeluarkan oleh PT. PLN (Persero).

4.2 Fasilitas Penyambungan (POC) PLTM Palangai Hulu

Untuk fasilitas penyambungan PLTM Palangai Hulu dengan sistem distribusi PLN perlu dilakukan hal-hal sebagai berikut :

- a. Pembebasan tanah untuk GH PLTM Palangai Hulu sebagai lokasi POC seluas 20m x 20m yang berada pada GH Balai Selasa.
- b. Pekerjaan sipil untuk pembangunan GH PLTM Palangai Hulu.
- c. Pengadaan dan pemasangan 5 sel kubikel 20 kV dengan PMT dan LBS masing-masing untuk 2 sel LBS *incoming*, 3 sel PT-TM, 1 sel PT-TM lengkap dengan CT-TM, relai OCR/OCG, saklar ke tanah serta pengawatannya namun tidak diperlukan relai proteksi untuk kubikel *incoming* dan PT-TM. Untuk 3 sel kubikel *outgoing* yang terhubung ke PLTM Palangai Hulu perlu menggunakan jenis relai OCR/OCG yang *directional*.

- d. Pengadaan Capacitor bank 5 x 300 MVAR, 20 kV lengkap dengan otomatis kontrol dan peralatan proteksinya.
- e. Meter Elektronik 3-Fasa pengukuran tidak langsung kelas 0.2 sebagai meter transaksi yang terpasang pada sel kubikel *incoming* lengkap dengan pengawatannya.
- f. Pengadaan dan pemasangan 1 set relai proteksi *anti-islanding* yang dipasang di bus 20 kV *Power House* PLTM Palangai Hulu.
- g. Pemasangan 1 buah PT-TM di busbar 20 kV *Power House* PLTM Palangai Hulu untuk keperluan relai *anti islanding*, lengkap dengan pengawatannya (tidak diperlukan apabila sudah termasuk dalam desain awal generator).
- h. *Disconnecting Switch* (DS) 1 kutub sebanyak 1 buah untuk pembumian langsung titik netral trafo step up PLTM Palangai Hulu untuk keperluan operasi terpisah (kondisi darurat).
- i. Pengadaan dan Pemasangan 1 set Radio Komunikasi *Base Station* di PLTM Palangai Hulu.

4.3 Biaya Fasilitas POC dan SUTM 20 kV

Untuk mendapatkan perkiraan biaya dalam kajian fasilitas penyambungan sejauh 8.36 kms antara Power House PLTM Palangai Hulu ke Gardu Hubung PLTM Palangai Hulu, perlu diperkirakan lahan yang diperlukan untuk pembangunan Gardu Hubung dan lahan yang dilalui jaringan SUTM 20 kV. Untuk Gardu Hubung diperlukan lahan seluas 20 m kali 20 m yaitu 400 m², untuk jaringan diperlukan rata-rata 2m kali panjang saluran, yaitu sekitar 6600 m². Rekapitulasi biaya sambungan dan Saluran Udara Tegangan Menengah 20 kV PLTM Palangai Hulu seperti pada Tabel 4.8. Dalam menetapkan tanggung jawab biaya dan pelaksana pekerjaan mengacu kepada Keputusan Direktur PT. PLN (Persero) No.0357.K/DIR/2014 pada angka 3.7, yakni semua biaya dari titik sambung ke *Power House* sisi pembangkit merupakan tanggung jawab pihak pengembang sedangkan dari titik sambung ke jaringan distribusi PLN merupakan tanggung jawab pihak PLN.

Tabel 4.8 Rekapitulasi Biaya SUTM 20 kV dan POC

No	Uraian Pekerjaan	Jumlah (Rp)
1	Pekerjaan Pendahuluan	18,000,000
2	Pemasangan Jaringan 20 kV	3,381,138,640
3	Trafo Daya 6,5 MVA (OLTC)	3,440,000,000
4	Trafo PS 100 KVA (Pemakaian Sendiri)	80,000,000
5	Radio Komunikasi <i>Base Station</i>	48,000,000
6	Anti Islanding Protection	102,000,000
7	SLO SUTM 20 kV	31,500,000
8	Capasitor bank 5 x 300 MVAR, 20 kV	880,000,000
9	Gardu Hubung dan Kubikel	2,543,665,270
	Jumlah 1	10,524,303,910
	PPN 10%	1,052,430,391
	Jumlah 1 setelah PPN	11,576,734,302
	Jumlah 1 Setelah PPN dibulatkan	11,577,000,000

BAB V

KAJIAN KELAYAKAN OPERASI DAN KAJIAN RESIKO

5.1 ¹ Kajian Kelayakan Operasi

Dalam kajian kelayakan operasi ini diasumsikan bahwa pada saat ²¹ PLTM Palangai Hulu (2 x 4,9 MW) COD tahun 2018, maka PLTM Palangai Hulu akan terhubung ke GH Balai Selasa. Berdasarkan informasi dari PT. PLN (Persero) Wilayah Sumbar pada Trafo 30 MVA GI Kambang tersebut akan tersambung PLTM Sako (1 x 3 MW) yaitu melalui GH Tapan, PLTM Anduring (2 x 1 MW) dan PLTM Salido Kecil (1 x 500 kW) ke GH Painan melalui penyulang Batang Kapas GH Painan.

Sesuai ketentuan ¹ Peraturan Direksi PT. PLN (Persero) No. 0357.K/DIR/2014, karena PLTM Muaro Sako dan PLTM Anduring saat ini sudah dalam proses PPA dan diperkirakan lebih dulu COD dibandingkan dengan PLTM Palangai Hulu dan PLTM Salido Kecil telah beroperasi, maka dalam Kajian Aliran Daya PLTM – PLTM tersebut diberikan prioritas untuk beroperasi pada kapasitas penuh. Dalam analisis kelayakan operasi PLTM Palangai Hulu, PLTM Palangai Hulu diasumsikan telah beroperasi. Untuk prioritas berikutnya diberikan pada PLTM Palangai Hulu untuk menyerap beban.

Asumsi lain yang digunakan dalam kajian penyambungan PLTM Palangai Hulu adalah pertumbuhan kenaikan beban puncak di subsistem Rayon Painan dan Rayon Balai Selasa yang berdasarkan informasi dari PLN bahwa untuk wilayah kerja Rayon Painan pertumbuhannya sekitar 6,3% pertahun sedangkan untuk Rayon Balai Selasa sekitar 5,3% pertahun.

Dari hasil kajian yang sudah dilakukan sebelumnya dapat diketahui bahwa tidak ada permasalahan tegangan pada saat PLTM Palangai Hulu akan sinkron/paralel karena tegangan terendah di bus 20 kV PLTM Palangai Hulu saat WBP tahun 2018 sekitar 17,08 kV. Artinya nilai tegangan tersebut berada

dibawah standar PLN, dengan demikian diperlukan penggunaan transformator jenis OLTC agar tegangan dapat paralel pada setiap kondisi serta pengaturan nilai kapasitor Palangai Hulu dan kapasitor Tapan agar $\cos\phi$ berada dalam batasan PLN yaitu 0,85 *lagging* dan 0,95 *leading*. Demikian juga dengan kemampuan kapasitas pemutusan peralatan PMT masih di bawah kemampuannya termasuk dengan kemampuan termal dan kelelahan konduktor masih berada di bawah KHA dan kemampuan tingkat kelelehannya. Dari sisi koordinasi proteksi hasilnya masih cukup selektif dan sensitif serta tidak terjadi *islanding operation* pada PLTM Palangai Hulu untuk beberapa lokasi gangguan yang ditentukan. Untuk bahan pertimbangan dalam pemilihan titik sambung dan mengacu kepada hasil kajian sebelumnya, dapat diperhatikan tinjauan sebagai berikut :

- a. Akan memperbaiki tegangan sistem di bus 20 kV GH Balai Selasa sehingga berdampak positif pada tegangan di penyulang-penyulang yang ada.
- b. Untuk *losses* teknis, sedikit lebih baik bila tersambung, demikian juga dengan biaya yang harus dialokasikan.
- c. Untuk peningkatan kapasitas PLTM Palangai Hulu kedepan, pertumbuhan beban puncak yang lebih tinggi sehingga kenaikan beban akan terserap oleh PLTM Palangai Hulu, hal tersebut juga dapat dilihat dari pengoperasian $\cos\phi$ yang masih di atas 0,85 sehingga masih ada cadangan beroperasi sampai dengan 0,85 apabila beban meningkat.

Standing Operation Procedure (SOP) pengoperasian PLTM Palangai Hulu.

Dengan beroperasinya PLTM Palangai Hulu yang tersambung ke sistem distribusi PLN melalui Penyulang Labuhan GH Balai Selasa, ¹ maka hal penting yang perlu diperhatikan dalam penyusunan SOP antara lain :

- a. **Antisipasi terbentuknya *islanding operation* atau operasi *isolated*.**

Terbentuknya *islanding operation* yaitu kondisi dimana PLTM Palangai Hulu (2 x 4,9 ¹ MW) terlepas dari sistem PLN namun sebagian beban jaringan distribusi tetap dipasok dari PLTM Palangai Hulu. Berdasarkan hasil kajian koordinasi

proteksi memang kecil kemungkinan terjadinya *islanding operation* pada PLTM Palangai Hulu karena untuk lokasi gangguan fasa-fasa atau fasa ke tanah pada bus 20 kV GI Kambang serta bus 20 kV GH Balai Selasa, yang menyebabkan PLTM Palangai Hulu berhenti memasok listrik ke sistem 20 kV PLN namun tidak terjadi *islanding operation* karena relai tegangan sebagai *anti islanding protection* bekerja terlebih dahulu.

Kondisi *islanding operation* sesuai ketentuan Per.Dir. No.0357.K/DIR/2014 tidak diperkenankan dalam kondisi operasi normal kecuali dalam kondisi darurat yang ditetapkan berdasarkan kewenangan pihak PLN. Alasan utama yang mendasari tidak diperkenankannya *islanding operation* adalah untuk menjaga keselamatan baik terhadap manusia maupun peralatan. Oleh karena itu setiap pembangkit listrik tenaga energi terbarukan harus dilengkapi dengan proteksi *anti-islanding*. Kondisi terbentuknya *islanding operation* yang tidak diinginkan tersebut perlu diwaspadai dan diantisipasi dengan koordinasi yang baik bagi para petugas piket operasi dengan mencantumkan dalam SOP bahwa apabila PMT penyulang incoming GH Balai Selasa terbuka akibat gangguan, maka apabila PMT 20 kV PLTM Palangai Hulu tidak membuka dalam waktu maksimal 2 detik, perlu dilakukan pembukaan PMT 20 kV PLTM Palangai Hulu secara manual.

b. Antisipasi bila ¹ *islanding operation* atau operasi *isolated* dalam keadaan darurat

Berdasarkan ketentuan Per.Dir. No.0357.K/DIR/2014 masih dimungkinkan mengoperasikan PLTM Palangai Hulu (2 x 4,9 MW) dengan *islanding operation* apabila dalam kondisi darurat. Ketentuan kondisi darurat ini merupakan kewenangan pihak PLN untuk menetapkan. Sebagai ilustrasi yang memungkinkan PLN menetapkan kondisi darurat yakni apabila terjadi kerusakan jaringan distribusi 20 kV pada incoming feeder GH Balai Selasa yang disebabkan oleh kasus longsor yang menimpa beberapa gawang sehingga memerlukan waktu perbaikan lebih dari 3 hari, maka PLN dapat memutuskan incoming feeder GH Balai Selasa dari PLN dan PLTM Palangai

Hulu (2 x 4,9 MW) dapat beroperasi terpisah dengan memikul beban lokal disekitar GH Balai Selasa.

Hal yang perlu diperhatikan dan tertulis dalam SOP apabila PLTM Palangai Hulu (2 x 4,9 MW) beroperasi terpisah dengan sistem PLN yaitu masalah pembumian titik netral pada trafo *step up* di PLTM Palangai Hulu, karena pada saat operasi paralel dengan sistem PLN titik netral trafo *step up* sisi 20 kV di PLTM Palangai Hulu (2 x 4,9 MW) tidak dihubungkan ke tanah atau sistem mengambang sehingga bila terjadi gangguan 1-fasa ke tanah, maka kontribusi arus gangguan ke tanah hanya berasal dari GH Balaselasa sedangkan dari PLTM Palangai Hulu (2 x 4,9 MW) tidak ikut berkontribusi mengingat NGR 40 Ohm berada di GI Kambang yang terhubung dengan GH Balai Selasa dan di PLTM Palangai Hulu (2 x 4,9 MW) tidak tersedia NGR.

Hal yang perlu diwaspadai apabila PLTM Palangai Hulu beroperasi terpisah adalah relai proteksi gangguan ke tanah (OCG) yang terpasang di bus 20 kV PLTM Palangai Hulu tidak dapat berfungsi apabila terjadi gangguan 1-fasa ke tanah karena sistem distribusi 20 kV dari PLTM Palangai Hulu (2 x 4,9 MW) mengambang. Kondisi tersebut tentunya sangat berbahaya terhadap keselamatan manusia dan juga tidak sesuai dengan ketentuan standar PLN. Karena pengoperasian PLTM Palangai Hulu (2 x 4,9 MW) secara terpisah tersebut merupakan kondisi darurat dan bersifat sementara sehingga perlu dicarikan solusi sementara dengan menyiapkan *Disconnecting Switch* (DS) kutub tunggal untuk trafo *step up* PLTM Palangai Hulu (dipilih salah satu pada trafo *step up* untuk unit PLTM yang sedang beroperasi).

Pada saat operasi terpisah dengan sistem PLN maka salah satu DS tersebut pada posisi masuk artinya pembumian titik netral trafo *step up* terhubung langsung ke tanah (*Solidly Grounded*) sedangkan pada saat operasi paralel dengan sistem distribusi PLN posisi DS terbuka. Dengan pembumian titik netral trafo *step up* terhubung langsung ke tanah maka relai proteksi

¹ gangguan ke tanah di bus 20 kV PLTM Palangai Hulu dapat berfungsi walaupun dengan nilai arus gangguan ke tanah yang sangat besar.

5.2 ¹ Kajian Resiko

Dalam kajian resiko ini perlu mempertimbangkan resiko yang terkait dengan teknologi pembangkit listrik tenaga energi terbarukan, pasokan bahan bakar, penurunan kapasitas sistem pembangkitan, keandalan pasokan listrik, penundaan COD, pembatalan proyek dan lain lain.

1. Tujuan Kajian Resiko

Kajian ini bertujuan untuk memberikan pedoman dalam rangka pengendalian internal (*internal control*) agar sasaran kegiatan dapat tercapai walaupun ada resiko-resiko yang menghambat tercapainya sasaran kegiatan.

2. Sasaran Kegiatan

Ada beberapa sasaran kegiatan yang ingin dicapai dalam kegiatan penyambungan PLTM Palangai Hulu ke sistem distribusi PLN ⁵⁵ ditunjukkan pada tabel 5.1.

Tabel 5.1 Sasaran Kegiatan Penyambungan

¹ Sasaran	Aksi
Sasaran Strategis	Mendorong peningkatan penggunaan energi terbarukan sehingga bisa mengurangi penggunaan bahan bakar minyak untuk pembangkitan tenaga listrik.
Sasaran Keuangan	Berkontribusi mengurangi biaya BPP PT PLN (Persero) Area Padang.
Sasaran Operasional	Meningkatkan ketersediaan dan kualitas pasokan tenaga listrik serta melayani pelanggan yang jauh dari pusat beban.

¹ 3. Identifikasi Resiko

Ada beberapa resiko yang dapat menghambat tercapainya sasaran kegiatan, yaitu seperti ditunjukkan dalam ¹ Tabel 5.2. Dengan demikian, teridentifikasi sebanyak 14 (empat belas) resiko yang bisa menghambat tercapainya sasaran kegiatan tersebut. Dalam analisa resiko, ada beberapa kegiatan yang dilakukan, yaitu :

- a. Menentukan kriteria akibat dari resiko serta kriteria kemungkinan terjadinya resiko.
- b. Menentukan rating akibat dan rating kemungkinan dari masing-masing resiko.
- c. Menentukan level resiko masing-masing berdasarkan huruf b dalam bentuk Matriks Level Resiko
- d. Menentukan prioritas resiko berdasarkan level resiko dari hasil huruf c

Tabel 5.2 Deployment Profil Resiko

Kelompok resiko	Resiko
Proses Pengadaan	1. Pihak Pengembang menghadapi kesulitan untuk melengkapi perizinan dari Pemkab setempat.
	2. Dalam kurun interval waktu pengurusan perizinan terjadi perubahan Permen dan/atau Perda.
	3. Terjadi krisis moneter dalam negeri.
Jadwal Penyelesaian Konstruksi	1. Proses penyelesaian pembebasan lahan mengalami hambatan dari masyarakat setempat.
	2. Pekerjaan konstruksi (weir, intake, water way, power house, tail race dan lain-lain) mengalami keterlambatan.
	3. Pekerjaan jaringan distribusi 20 kV dari PLTM ke jaringan eksisting mendapat hambatan dari masyarakat.
	4. Sebagian atau semua pembangunan infrastruktur yang menjadi tanggung jawab PLN terlambat.
Lingkungan dan Sosial	1. Ijin UPL/UKL belum disetujui oleh instansi yang berwenang.
	2. Pembangunan PLTM mengganggu kelestarian ekosistem disekitarnya.
Keandalan Pasokan Energi PLTM	1. Debit air tidak cukup untuk menggerakkan turbin generator.
	2. Gangguan Berat pada komponen utama PLTM
	3. Koordinasi sistem proteksi PLTM tidak sesuai dengan proteksi sistem PLN
Kondisi Sosial	1. Perambahan hutan disekitar DAS oleh kelompok masyarakat
	2. Adanya protes dari Lembaga Swadaya Masyarakat terhadap pengoperasian PLTM.

**Tabel 5.3 Analisa dan Resiko yang Mungkin Terjadi dalam Penyambungan PLTM
Palangai Hulu**

No.	Resiko		Faktor Positif yang ada sekarang	Rating		Level Resiko	Prioritas Resiko
	Peristiwa	Akibat		Akibat	Prob.		
1	Pihak Pengembang menghadapi kesulitan untuk melengkapi perizinan dari Pemkab setempat.	Proses PPA/ PJBTl tertunda	1 Bukan di pihak PLN, masalah internal Pengembang	Minor	Kecil	Rendah	5
2	Dalam kurun interval waktu pengurusan perizinan terjadi perubahan Permen dan/atau Perda	Perubahan isi dokumen pendukung	Penyesuaian dokumen sesuai ketentuan	Minor	Kecil	Rendah	13
3	Terjadi krisis moneter dalam negeri.	Terganggu arus kas pembiayaan phk pengembang.	1 Bukan di pihak PLN, masalah internal Pengembang	Minor	Kecil	Rendah	12
4	Proses penyelesaian pembebasan lahan mengalami hambatan dari masyarakat setempat.	Pihak pengembang belum dapat mulai pekerjaan	1 Bukan di pihak PLN, masalah internal Pengembang	Minor	Kecil	Rendah	2
5	Sebagian atau semua pembangunan infrastruktur yang menjadi tanggung jawab PLN terlambat.	Komisioning test dan COD terlambat.	1 Permasalahan di pihak PLN	Medium	Kecil	Moderat	1
6	Pekerjaan konstruksi (weir, intake, water way, power house, tail race dan lain-lain) mengalami keterlambatan.	Jadwal ulang program kerja pihak pengembang	1 Bukan di pihak PLN, masalah internal Pengembang	Minor	Kecil	Rendah	6
7	Pekerjaan jaringan distribusi 20 kV dari PLTM ke jaringan GH mendapat hambatan dari masyarakat.	Komisioning test dan COD tidak dapat dilaksanakan	1 Bukan di pihak PLN, masalah internal Pengembang	Minor	Kecil	Rendah	7
8	1 Ijin UPL/UKL belum disetujui oleh instansi yang berwenang.	Proses dokumen lainnya tidak dapat dilaksanakan	PLN menyarankan agar pengembang melengkapi UPL/UKL	Minor	Kecil	Rendah	8
9	Pembangunan PLTM mengganggu kelestarian ekosistem disekitarnya.	Mengganggu kelestarian alam	PLN menyarankan solusi penyelesaian kepada pengembang	Minor	Kecil	Rendah	9

10	Debit air tidak cukup untuk menggerakkan turbin generator.	Produksi energi PLTM berkurang	¹ Bukan di pihak PLN, masalah internal	Minor	Kecil	Rendah	11
11	Gangguan Berat pada komponen utama PLTM	Shut down unit PLTM	¹ ¹ pengembang Bukan di pihak PLN, masalah internal	Minor	Kecil	Rendah	4
12	Koordinasi sistem proteksi PLTM tidak sesuai dengan proteksi sistem PLN	Interkoneksi PLTM dengan GI terputus	Resetting bersama relai proteksi	Medium	Kecil	Moderat	3
13	Perambahan hutan disekitar DAS oleh kelompok masyarakat	Debit air berkurang atau bisa terjadi banjir	Tindakan preventif oleh instansi berwenang	Minor	Sangat kecil	Rendah	14
14	¹ Adanya protes dari Lembaga Swadaya Masyarakat terhadap pengoperasian PLTM.	Tingkat kenyamanan petugas PLTM kurang aman	¹ Pihak pengembang memperhatikan aspirasi pihak yang keberatan	Minor	Sangat kecil	Rendah	10

¹ 4. Rencana Tindakan

Dari 14 (empat belas) resiko di atas hanya ada 3 resiko yang bisa diberikan tanggapan (mitigasi) untuk mengurangi kemungkinan terjadinya serta mengurangi dampaknya karena masih ada peran PLN yang dapat dilakukan, sedangkan 11 jenis resiko lainnya diluar kendali PLN dan merupakan tanggung jawab pihak pengembang.

Tabel 5.4 Rencana Tindakan yang Akan Dilakukan

No.	Resiko (sesuai prioritas)	OPSI (Tanggapan yang memungkinkan)	OPSI yang dipilih	Penanggung jawab	Waktu	Keputusan
1	¹ Sebagian atau semua pembangunan infrastruktur yang menjadi tanggung jawab PLN terlambat.	Cek PPA apakah ada sanksi atas kasus tersebut.	Evaluasi tahunan.	Pihak PLN	3 bulan sebelum COD	GM WILAYAH SUMBAR
2	¹ Proses penyelesaian pembebasan lahan mengalami hambatan dari masyarakat setempat.	Diluar kendali PLN	Diluar kendali PLN	Pihak Pengembang	-	Pihak Pengembang
¹ 3	Koordinasi sistem proteksi PLTM tidak sesuai dengan proteksi sistem PLN	Anev bersama faktor penyebab	Rekomendasi untuk melakukan sesuai hasil anev	Komisi Operasi	1 hari setelah kejadian	Para Pihak
4	Gangguan Berat pada komponen utama PLTM	Cek PPA apakah ada sanksi atas kasus tersebut.	Evaluasi tahunan	Komisi Operasi	Setiap 1 bln setelah tercapai	Para Pihak

					nya operasi tahunan	
5	¹ Pihak Pengembang menghadapi kesulitan untuk melengkapi perizinan dari Pemkab setempat.	Diluar kendali PLN	Cek klausul PPA untuk mengatur amandemen.	PPA	Sebelum tanda tangan PPA	Verifikasi konsep kontrak oleh Tim PPA
6	Pekerjaan konstruksi (weir, intake, water way, power house, tail race dan lain-lain) mengalami keterlambatan.	Diluar kendali PLN	Cek klausul PPA apakah ada sanksi atas kasus tersebut.	Tim Pemantau IPP Wilayah WILAYAH SUMBAR	1 bulan sebelum COD	GM WILAYAH SUMBAR
¹ 7	Pekerjaan jaringan distribusi 20 kV dari PLTM ke jaringan eksisting mendapat hambatan dari masyarakat.	Diluar kendali PLN	Cek klausul PPA apakah ada sanksi atas kasus tersebut.	Tim Pemantau IPP Wilayah WILAYAH SUMBAR	1 bulan sebelum COD	GM WILAYAH SUMBAR
8	¹ Ijin UPL/UKL belum disetujui oleh instansi yang berwenang.	Diluar kendali PLN	Me ¹ cantumkan lampiran dalam PPA	Tim PPA	Sebelum tanda tangan PPA	Pihak Pengembang
9	Pembangunan PLTM mengganggu kelestarian ekosistem disekitarnya.	Diluar kendali PLN	Me ¹ cantumkan lampiran dalam PPA	Tim PPA	Sebelum tanda tangan PPA	Pihak Pengembang
10	¹ Adanya protes dari Lembaga Swadaya Masyarakat terhadap pengoperasian PLTM.	Diluar kendali PLN	Mencantumkan lampiran dalam PPA	Pihak Pengembang	-	Pihak Pengembang
11	Debit air tidak cukup untuk menggerakkan turbin generator.	Diluar kendali PLN	Cek klausul PPA apakah ada sanksi atas kasus tersebut.	Pihak Pengembang	-	Pihak Pengembang
12	Terjadi krisis moneter ¹ dalam negeri.	Diluar kendali PLN	Diluar kendali PLN	Pihak Pengembang	-	Pihak Pengembang
13	Dalam kurun interval waktu pengurusan perizinan terjadi perubahan Permen dan atau Perda	Diluar kendali PLN	Amandemen PPA	Para Pihak	-	Pihak Pengembang
14	Perambahan hutan disekitar DAS oleh kelompok masyarakat	Diluar kendali PLN	Diluar kendali PLN	Pihak Pengembang	-	Pihak Pengembang

¹
Dari kajian resiko tersebut diperoleh ada 14 resiko yang dominan, ada 1 resiko yang sepenuhnya menjadi tanggung jawab PLN, 2 resiko ada keterlibatan PLN sedangkan 11 resiko sisanya merupakan tanggung jawab sepenuhnya pihak pengembang.

Tabel 5.5 Persyaratan Teknis PLT EBT

No.	PERSYARATAN TEKNIS PLT EBT	PEMENUHAN PERSYATAN TEKNIS PLTM DSE
A	PERSYARATAN FUNGSI PROTEKSI	
1	Fungsi Trip Tegangan Lebih atau Tegangan Kurang dan Frekuensi	
	2 Fungsi ini dibutuhkan agar PLT EBT dapat merespon tegangan 2 n frekuensi abnormal dari Sistem Distribusi dan memutus 2 nyaluran tenaga listrik ke Sistem Distribusi agar terhindar dari dampak yang merugikan pada Sistem Distribusi PLN.	Untuk fungsi trip tegangan lebih dan kurang, PLTM Palangai Hulu dilengkapi dengan sistem proteksi <i>under/over voltage</i> yang ditempatkan pada line relay dan metering Panel (outgoing Panel) dengan code proteksi (27/59)
2		Untuk fungsi trip frekuensi lebih dan kurang, PLTM Palangai Hulu dilengkapi dengan sistem proteksi <i>under/over frequency</i> yang ditempatkan pada <i>transformer relay</i> dan <i>metering panel</i> , dengan kode proteksi 81U/0
2	Fungsi Penginderaan Tegangan dan Frekuensi serta Waktu Tunda	
	Fungsi ini diperlukan oleh Pembangkit Listrik Energi Terbarukan untuk:	i. Mencegah PLT EBT agar tidak mengalirkan tegangan (<i>energizing</i>) ke Sistem Distribusi PLN ketika Sistem Distribusi tersebut tidak bertegangan (<i>deenergizing</i>) dan ii. Mengizinkan penyambungan kembali dengan Sistem Distribusi PLN harus pada tegangan dan frekuensi Sistem Distribusi berada dalam rentang normal seperti di tetapkan dalam Aturan Distribusi Tenaga Listrik. Sistem penyambungan PLT EBT harus meliputi waktu tunda yang dapat diatur (atau waktu tunda yang ditetapkan selama 5 menit) yang dapat menunda penyambungan kembali sampai 5 menit setelah Tegangan dan Frekuensi tunak (<i>steady-state</i>) pada Sistem Distribusi Listrik dipulihkan dalam rentang normal
3	<i>Anti-Islanding</i>	
	PLT EBT dilengkapi dengan proteksi untuk mencegah PLT EBT berkontribusi terhadap pembentukan <i>unintended island</i> dan untuk menghentikan <i>energizing</i> Sistem Distribusi PLN dalam waktu (2) dua detik pada pembentukan <i>unintended island</i>	Untuk mengatasi anti-islanding yang tidak izinkan, seperti yang disampaikan dalam pedoman, maka PLTM Palangai Hulu akan menerapkan sistem deteksi gangguan jaringan distribusi dengan menghentikan suplai ke jaringan distribusi dalam 2 detik sejak gangguan terdeteksi.
	Setelah PLT EBT berhenti menyalurkan tenaga listrik ke jaringan distribusi, <i>Distribution Control Center</i> atau otoritas PLN lainnya memiliki kewenangan mengoperasikan sistem <i>islanding</i> dengan PLT EBT untuk meminimalkan pemadaman listrik pelanggan	
4	Deteksi Gangguan Jaringan Distribusi	

	PLT EBT dengan SCCR lebih tinggi dari 0.1 atau PLT EBT yang tidak memiliki fungsi Anti-Islanding dipersyaratkan untuk memiliki fungsi proteksi untuk mendeteksi gangguan pada Sistem Distribusi baik dari phase to phase maupun dari phase to ground, dan berhenti dalam menyalurkan tenaga listrik ke Sistem Distribusi PLN dalam waktu 2 detik sejak gangguan terdeteksi. PLT EBT harus tidak menyalurkan ke Jaringan Distribusi PLN sebelum penutupan kembali peralatan distribusi PLN	Untuk mendeteksi gangguan jaringan distribusi, PLTM DSE dilengkapi dengan <i>instantaneous/invers time overcurrent protection</i> . System proteksi mampu mendeteksi gangguan <i>system distribusi phase to phase</i> , maupun phase to netral dengan waktu <i>delay</i> di set 2 detik sejak gangguan distribusi terdeteksi.
		Proteksi ini ditempatkan di <i>line relay</i> Panel,
		Dengan <i>code</i> proteksi 50/51. Gambaran lebih jelas dapat dilihat pada Lampiran SLD Pembangkit
25	Persyaratan Tranfer Trip	
	Jika PLT EBT dengan kapasitas 1 MW atau lebih besar tidak dapat mendeteksi gangguan Sistem Distribusi atau adanya pembentukan <i>Unintended Islanding</i> , dan menghentikan memberikan tenaga listrik pada jaringan distribusi dalam waktu 2 (dua) detik, maka diperlukan skema <i>Transfer Trip</i> langsung yang memungkinkan DCC atau Unit PLN berwenang secara otomatis menghentikan PLT EBT dengan menggunakan sambungan komunikasi otomatis	Dengan kemampuan mendeteksi gangguan sistem distribusi, maka skema transfer trip tidak diterapkan pada PLTM DSE
6	Alat Pemutus Transfer Trip	
	Jika PLT EBT dengan kapasitas 1 MW atau lebih besar tidak dapat mendeteksi gangguan Sistem Distribusi atau adanya pembentukan <i>Unintending Islanding</i> , dan menghentikan memberikan tenaga listrik pada jaringan distribusi dalam waktu 2 (dua) detik, maka diperlukan <i>Transfer Trip</i> Langsung yang memungkinkan DCC atau unit PLN berwenang untuk secara otomatis menghentikan PLT EBT dengan menggunakan sambungan komunikasi otomatis	PLTM DSE akan memenuhi ketentuan tersebut
27	Surge Withstand Capability (Kemampuan Ketahanan terhadap Surja)	
	PLT EBT memiliki relai proteksi dan relai sistem penyaluran yang dirancang untuk menahan lonjakan tegangan dan arus sesuai dengan standar berlaku di PLN	Peralatan pemutus dan penyambung tegangan akan dilengkapi dengan <i>lightning/surge arrester</i> agar mampu menahan lonjakan arus dan tegangan sesuai standar PLN.
		Dalam kasus ini, peralatan pemutus tegangan PLTM DSE akan dilengkapi dengan <i>lightning/surge arrester</i> dengan kapasitas 18 kV
8	Peralatan Paralel	
	Peralatan paralel sistem penyaluran PLT EBT mampu menahan 220% dari tegangan 4-26 sistem penyaluran	PLTM DSE akan memenuhi ketentuan tersebut
9	Reclose Blocking	
	Kapasitas agregat PLT EBT melebihi 25% dari beban minimal penyaluran dengan perangkat <i>reclosing</i> otomatis, PLN memerlukan fungsi proteksi tambahan. Proteksi tambahan tersebut termasuk namun tidak terbatas pada recloser <i>blocking</i> atau proteksi tambahan lainnya yang melengkapi Penutup Balik Otomatis (PBO/ perangkat <i>reclosing</i> otomatis).	PLTM DSE akan memenuhi ketentuan tersebut
10	Peralatan Tambahan yang Diperlukan	

2 11	Peralatan PMT PLT EBT atau peralatan interupsi lainnya yang terletak pada titik sambung harus disertifikasi sesuai dengan fungsi dan tujuannya. Peralatan tersebut harus mampu menginterupsi gangguan maksimum yang terjadi di Point of Common Coupling (PCC). PLT EBT milik pengembang dan	Kegiatan sertifikasi akan dilakukan sebelum serah terima pekerjaan oleh kontraktor, sehingga akan memenuhi persyaratan teknik yang diperlukan.
	Proteksi Cadangan	
2 12	PLT EBT dengan kapasitas desain terpasang yang lebih besar dari 200 KW atau 1/5 dari beban puncak penyulang, maka PLT EBT harus dilengkapi dengan proteksi cadangan, sehingga ketika ada gangguan pada fungsi proteksi utama sistem masih dapat memenuhi persyaratan waktu mengatasi gangguan.	PLTM DSE akan memenuhi ketentuan tersebut.
	Perubahan Sistem Proteksi	
	Pengembangan PLT EBT harus memberikan pemberitahuan tertulis kepada PLN sebelum dilakukan perubahan, untuk tiap perubahan yang diusulkan dalam pembuatan sistem proteksi, setting proteksi, prosedur operasi atau peralatan yang akan mempengaruhi penyambungan PLT EBT dan operasi paralel dengan sistem distribusi PLN. Perubahan yang diusulkan harus dilakukan pengujian dan sertifikasi ulang, setelah persetujuan PLN dengan persyaratan yang sesuai ditetapkan kan dalam Bab ini.	PLM DSE akan memenuhi ketentuan tersebut.
B 2	PERSYARATAN FUNGSI PENCEGAHAN INTERFERENSI SISTEM	
1	Pengaturan Tegangan	
2 2	PLT EBT tidak diperbolehkan secara aktif ikut mengatur tegangan pada titik sambung ketika sedang paralel dengan sistem distribusi PLN. Pengoperasian PLT EBT tidak diperbolehkan meyebabkan gangguan sehingga tegangan layanan konsumen lain menjadi tidak memenuhi persyaratan-persyaratan pada Aturan Distribusi Tenaga Listrik PLN (+5% & -10%). Respon terhadap Tegangan Abnormal	PLTM DSE akan memenuhi ketentuan tersebut.
2 2	PLT EBT harus dilengkapi dengan Fungsi Proteksi untuk mendeteksi kondisi tegangan abnormal pada Sistem Distribusi. Ketika tegangan di Titik Sambung pada rentang seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.5, PLT EBT harus berhenti menyalurkan energi ke Sistem Distribusi PLN dalam batasan waktu yang telah ditentukan.	PLTM DSE akan memenuhi ketentuan tersebut.
2 3	Fungsi proteksi harus mendeteksi dan merespon tegangan pada semua fasa dimana PLT EBT terhubung. Untuk PLT EBT dengan kapasitas terpasang 30 KW atau lebih kecil, set point tegangan dan clearing time harus ditetapkan atau dapat disesuaikan. Untuk PLT EBT dengan kapasitas terpasang lebih dari 30 KW, set point tegangan harus dapat disesuaikan, dan set point tegangan dan clearing time dalam rentang seperti yang ditunjukkan pada Table 3.5 harus disepakati oleh PLN. Rentang tegangan pada Tabel 3.5 tidak dimaksudkan untuk mendefinisikan Fungsi Pengaturan Tegangan seperti yang disebutkan pada bagian di atas. Respon terhadap Frekuensi Abnormal	PLTM DSE akan memenuhi ketentuan tersebut.
	PLT EBT harus mampu beroperasi dengan output maksimum dalam rentang frekuensi 47,5 hingga 51,0 Hz mengacu pada SPLN No. 03,022-2:2012. Jika frekuensi Sistem Distribusi mencapai 50,5 Hz atau lebih tinggi, maka PLT EBT yang berada pada kondisi tidak tersambung/offline tidak dapat diparalelkan ke Sistem Distribusi PLN, kontrol daya aktif akan diterapkan oleh PLN. PLT EBT harus dilengkapi dengan fungsi Proteksi untuk mendeteksi kondisi frekuensi abnormal dari Sistem Distribusi PLN.	PLTM DSE akan memenuhi ketentuan tersebut.

2	Jika frekuensi Sistem Distribusi PLN pada Titik Sambung berbeda dan tetap berada di luar level yang ditetapkan (SO Hz) dengan waktu yang ditentukan pada Tabel 3.6, PLT EBT harus menghentikan penyaluran listrik ke Sistem Distribusi PLN dalam <i>clearing time</i> maksimum seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.6. untuk PLT EBT dengan kapasitas terpasang 30 KW atau lebih kecil, set point frekuensi dan clearing time harus ditetapkan atau dapat disesuaikan. Untuk PLT EBT dengan kapasitas terpasang lebih dari 30 KW, set point frekuensi harus dapat disesuaikan, dan set point frekuensi serta clearing time dalam rentang seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.6 harus disepakati oleh PLN.	
	*) maksimum clearing time mengacu pada waktu antara terjadinya kondisi abnormal dan PLT EBT berhenti untuk memberikan tegangan ke Sistem Distribusi PLN. Sirkuit dan peralatan pengindera fungsi proteksi tetap terhubung dengan Sistem Distribusi PLN untuk mengindera kondisi sistem kelistrikan agar dapat "reconnect". Tujuan penundaan waktu yang diperbolehkan pada rentang frekuensi rendah untuk memungkinkan PLT EBT dapat melalui gangguan sistem singkat atau menghindari trip.	
4	Sinkronisasi	
	PLT EBT harus beroperasi secara paralel dengan Sistem Distribusi PLN tanpa menyebabkan fluktuasi tegangan di Titik Sambung lebih besar $\pm 5\%$ dari tegangan Sistem Distribusi PLN, dan memenuhi persyaratan Flicker. Dalam penyambungan sinkron dengan Sistem Distribusi PLN, perangkat paralel hanya berada dalam posisi tertutup jika semua tiga parameter sinkronisasi dalam rentang seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.7. jika salah satu parameter berada di luar rentang maka perangkat paralel tidak akan menutup.	PLTM DSE akan memenuhi ketentuan tersebut.
5	Flicker	
1	PLT EBT tidak diperbolehkan menghasilkan flicker yang merugikan bagi konsumen lain pada Sistem Distribusi PLN. Untuk mengurangi flicker yang berlebihan yang disebabkan oleh fluktuasi tegangan pelanggan, flicker pada Titik Sambung yang disebabkan oleh PLT EBT tidak boleh melebihi batasan persepsi flicker dalam jangka waktu yang singkat (10 menit) (Pst) dari 1,0 dan persepsi flicker dalam jangka waktu yang lama (2 jam) (Pit) dari 0,8. Penjelasan lebih rinci batasan flicker dapat ditemukan didalam IEC 61000-3-7: "Assesment of Emission Limits for the Connection of Fluctuating Installations to	PLTM DSE akan memenuhi ketentuan tersebut.
2	MV, HV and EHV Power Systems", 2008. Flicker meter yang memenuhi standar IEC harus digunakan untuk mengukur Pst dan Pit, sesuai dengan IEC 61000-4-15: "Testing and Measurement Techniques	
	Pengoperasian paralel Pembangkit Listrik Energi Terbarukan, termasuk pembangkit listrik yang berfluktuasi seperti Pembangkit Listrik Tenaga Bayu dan Tenaga Surya Fotovoltaik, cenderung menyebabkan flicker yang dapat mengganggu pelanggan listrik lainnya. Aturan Distribusi Tenaga Listrik saat ini tidak memiliki batasan flicker secara eksplisit untuk penyambungan pembangkit listrik terdistribusi. Dan beban lokal, terutama di daerah pedesaan, tidak sensitif terhadap flicker. PLN Wilayah atau Distribusi memutuskan batasan flicker harus dihapuskan sementara untuk memenuhi batasan yang ditentukan dari kondisi setempat.	
2	Flicker Meter : Functional and Design Spesifications," 2010.	
6	Harmonisa	

2	PLT EBT tidak diperbolehkan menyebabkan mas ² nya arus harmonik melebihi batas-batas yang ditetapkan ke Sistem Distribusi PLN di Titik Penyambungan. Injeksi arus harmonik tidak termasuk arus harminik yang disebabkan oleh distorsi harmonik tegangan yang ada di dalam Sistem Distribusi PLN tanpa PLT EBT.	PLTM DSE akan memenuhi ketentuan tersebut.
7	Faktor Daya	
2	Setiap genarator dalam PLT EBT harus mampu beroperasi dalam rentang faktor daya dari 0,90 leading sampai 0,85 lagging. Pengoperasian diluar batasan ini masih dapat diterima selama d ² a reaktif PLT EBT masih dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan pemakaian sendiri, atau jika tidak, maka daya reaktif disediakan di bawah pengaturan PLN, tanpa menghasilkan dampak merugikan pada tegangan sistem. Pengembang harus memberitahu PLN jika mereka menggunakan PLT EBT untuk memperbaiki faktor daya. Kecuali jika ada persetujuan lain antara pengembang dan PLN, PLT EBT harus secara otomatis mengatur faktor daya dan bukan tegangan ketika dioperasikan secara paralel dengan Sistem Distribusi PLN.	PLTM DSE akan memenuhi ketentuan tersebut.
8	Ketentuan Peralihan	
2	Persyaratan teknik untuk mencegah gangguan yang dijelaskan pada bagian ini dapat sementara diabaikan atau pelaksanaannya dialihkan oleh PLN untuk PLT EBT khusus yang disambungkan ke Sistem Distribusi PLN yang tidak sesuai sepenuhnya dengan standar tegangan dan kualitas daya (harmonik dan flicker) yang diuraikan dalam Aturan Distribusi Tenaga Listrik. Ketentuan peralihan ini berlaku selama 1 (satu) tahun sejak pedoman ini diberlakukan.	PLTM DSE akan memenuhi ketentuan tersebut.
C	PERSYARATAN TEKNIK SPESIFIK TEKNOLOGI PEMBANGKIT	
1	Generator Sinkron	
2	PLT EBT dengan generator sinkron seperti Pembangkit Listrik Tenaga Biofuel, Biomassa, Air dan Berbasis Sampah Kota Skala cil (umumnya lebih besar dari 1 MW) harus memiliki fungsi sinkronisasi otomatis atau manual yang memenuhi standar PLN dan sinkronisasi standar yang ditetapkan dalam sub-bab 4.2.4. Jika SCCR dari PLT EBT lebih tinggi dari pada 0,05 maka sinkronisasi otomatis diperlukan. Generator sinkron harus secara otomatis mengatur faktor daya dan bukan tegangan. PMT generator sinkron tiga fasa baik dengan kontrol elektronik atau elektromekanik.	46 M DSE akan memenuhi ketentuan tersebut.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

PLTM Palangai Hulu dengan kapasitas terpasang 9,8 MW (2 x 4,9 MW), faktor pembangkitan 61%. Terletak di daerah Balai Selasa Kecamatan Ranah Pesisir Kabupaten Pesisir Selatan. Dari sisi kelistrikan berjarak 27 kms dari GI Kambang dan 9 kms GH Balai Selasa.

Kajian ini dilakukan untuk memenuhi aspek legal, aspek teknis dan aspek ekonomi. Dari aspek legal kegiatan ini merupakan persyaratan yang harus dilakukan sebelum PjBL antara pengembang dalam hal ini DSE dengan PLN sesuai Keputusan Direksi PLN No. 0357 Tahun 2014 dan aspek teknis untuk melihat dampak yang ditimbulkan oleh tersambungannya PLTM Palangai Hulu ke sistem distribusi PLN Rayon Balai Selasa, sementara aspek ekonomi, adalah untuk menganalisa seberapa besar energi yang dihasilkan oleh PLTM Palangai Hulu dapat diserap oleh PLN. Yang pada akhirnya menggambarkan kondisi kelayakan secara finansial.

Setelah dilakukan kajian dapat disimpulkan bahwa :

1. Dari aspek legal, proses pembangunan PLTM Palangai Hulu layak untuk masuk kepada proses administrasi berikutnya yaitu penandatanganan kontrak Perjanjian Jual Beli Tenaga Listrik (PjBL), karena telah memenuhi syarat-syarat yang diatur pada Keputusan Menteri ESDM No 12 tahun 2014 yang disempurnakan dengan Keputusan Menteri No 22 tahun 2014 serta keputusan Direksi PT. PLN (Persero) No. 0357 Tahun 2014. Khususnya tentang studi penyambungan.
2. Secara teknis, titik transaksi yang paling ekonomis dan tidak mengakibatkan gangguan pada sistem distribusi PT. PLN (Persero) adalah GH Balai Selasa dengan jarak 9 kms.

3. Dari hasil Kajian Kelayakan Operasi tidak ada dampak kenaikan tegangan pada bus PLN, yang terjadi adalah perbaikan nilai tegangan, setelah dilakukan pengaturan operasi kapasitas.
4. Berdasarkan hasil kajian Resiko tidak terdapat resiko yang bersifat teknis, resiko non teknis tidak mengganggu kegiatan pembangunan PLTM, karena telah diantisipasi atau telah dipenuhi oleh pengembang, ⁶ hal ini dapat dilihat pada Tabel 5.4.
5. Penambahan kapasitor pada bus kopling Palangai Hulu 1500 kVar dan di GH Tapan 1200 kVar.
6. Energi yang dibangkitkan oleh PLTM Palangai Hulu dapat diserap rata-rata 96,4% mulai tahun 2018.

6.2 Saran

1. Perlu menggunakan transformator pembangkit yang dilengkapi OLTC, agar PLTM Palangai Hulu dapat paralel setiap saat.
2. Perlu dilakukan kajian kelayakan finansial lebih sensitif untuk menilai kelayakan ekonomi yang lebih akurat. Untuk keperluan itu dibutuhkan rencana pola operasi PLTM dari konsultan DED dan karakteristik antara persentase debit terhadap efisiensi turbin serta harga mesin.

DAFTAR PUSTAKA

1. Kabupaten Pesisir Selatan dalam Angka tahun 2015
2. PT. PLN (Persero), Rancangan Umum Pembangunan Tenaga Listrik (RUPTL) 2015-2024, Jakarta 2015
3. Cahayahati, Hidayat dan Dirman.H, Volatage Control Syatem Design for Micro Hydro Power Generation Base on Fuzzy Logic Approach in Order to Improve Voltage Profile of Alternative Power Generation, Proceedings of the International Graduade on Engineering Science (IGCES'08), 23-24 Desember 2008, Padang
4. Dempo Hydro Power, "Feasibility study PLTA Lubuak Gadang", Padang, 2015
5. JICA, "Manuals and Gudelines for Micro-hydropower Development in Rural Electrification", 2009
6. Laymans, "Guide Book on How to Develop a Small Hydro Site", 1998
7. Meteorology of data meteorology and geophysics AWLR, Solok Selatan, 2012
8. PERMEN ESDM NO 19, year 2015, Electrict price HPP per kWh, PLN 2015.
9. PERMEN ESDM NO 3 year 2015, Electrict price HPP per kWh, PLN 2015.

2.Buku_Laporan_Penelitian_POC_PLTM_Palangai_Hulu.pdf

ORIGINALITY REPORT

37%
SIMILARITY INDEX

36%
INTERNET SOURCES

3%
PUBLICATIONS

%
STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1 www.scribd.com 12%
Internet Source

2 pt.scribd.com 11%
Internet Source

3 123dok.com 2%
Internet Source

4 vibdoc.com 2%
Internet Source

5 id.scribd.com 1%
Internet Source

6 text-id.123dok.com 1%
Internet Source

7 es.scribd.com 1%
Internet Source

8 jurnal.pancabudi.ac.id 1%
Internet Source

9 ojs.uniska-bjm.ac.id 1%
Internet Source

10	hidayatubh.blogspot.com Internet Source	<1 %
11	repository.its.ac.id Internet Source	<1 %
12	vdocuments.site Internet Source	<1 %
13	eprints.undip.ac.id Internet Source	<1 %
14	zakuan.unizar.es Internet Source	<1 %
15	qdoc.tips Internet Source	<1 %
16	repo.bunghatta.ac.id Internet Source	<1 %
17	issuu.com Internet Source	<1 %
18	www.slideshare.net Internet Source	<1 %
19	Hidayat, Cahayahati, Arnita, Saiful Jamaan. "Grid Study of Mini Hydro Power Plant (MHPP) of Palangai Hulu 2x4,9 MW South Pesisir", MATEC Web of Conferences, 2018 Publication	<1 %
20	docplayer.info Internet Source	<1 %

21	jurnal.untan.ac.id Internet Source	<1 %
22	Adri Senen, Titi Ratnasari. "STUDI INTERKONEKSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOMASSA 1 X 9,9 MW DI DELI SERDANG", Journal of Applied Agricultural Science and Technology, 2019 Publication	<1 %
23	adoc.pub Internet Source	<1 %
24	temukaryasastraislammelayu.blogspot.com Internet Source	<1 %
25	hdl.handle.net Internet Source	<1 %
26	dokumen.tips Internet Source	<1 %
27	gubuktatang.blogspot.com Internet Source	<1 %
28	ewsdata.rightsindevelopment.org Internet Source	<1 %
29	idoc.pub Internet Source	<1 %
30	library.polmed.ac.id Internet Source	<1 %

31	core.ac.uk Internet Source	<1 %
32	manajemenelektrounsrat.wordpress.com Internet Source	<1 %
33	id.wikipedia.org Internet Source	<1 %
34	moam.info Internet Source	<1 %
35	bappeda.acehprov.go.id Internet Source	<1 %
36	documents.mx Internet Source	<1 %
37	epsilon.unjani.ac.id Internet Source	<1 %
38	journal.eng.unila.ac.id Internet Source	<1 %
39	repository.unair.ac.id Internet Source	<1 %
40	repository.unpar.ac.id Internet Source	<1 %
41	www.neliti.com Internet Source	<1 %
42	Yuliyanto Yuliyanto. "Problematika Tata Cara Eksekusi Ganti Kerugian dalam Perkara	<1 %

Pidana", Jurnal Penelitian Hukum De Jure, 2019

Publication

43	edoc.site Internet Source	<1 %
44	eprints.binus.ac.id Internet Source	<1 %
45	jurnal-tip.net Internet Source	<1 %
46	kopasajbsite.wordpress.com Internet Source	<1 %
47	riaueksis.com Internet Source	<1 %
48	1library.org Internet Source	<1 %
49	ahliberbagaicara.blogspot.com Internet Source	<1 %
50	ejournal.itp.ac.id Internet Source	<1 %
51	isi-dps.ac.id Internet Source	<1 %
52	peraturan.go.id Internet Source	<1 %
53	permohonankerjasama.wordpress.com Internet Source	<1 %

54	pt.slideshare.net Internet Source	<1 %
55	repository.wima.ac.id Internet Source	<1 %
56	studentsrepo.um.edu.my Internet Source	<1 %
57	www.pln.co.id Internet Source	<1 %
58	Indri Safitri, Gunawan Gunawan, Agus Adhi Nugroho. "Analisa Koordinasi Setting Proteksi Over Current Relay (OCR) Outgoing 20 kV dan Recloser pada Trafo II 60 MVA Feeder RBG 01 di Gardu Induk 150 kV Rembang", ElektriKA, 2020 Publication	<1 %
59	jurnalelektro.petra.ac.id Internet Source	<1 %
60	doku.pub Internet Source	<1 %

Exclude quotes On

Exclude matches Off

Exclude bibliography On