LAMPIRAN A PERHITUNGAN

A. Perhitungan Daya Dibangkitkan Generator

a. Perhitungan Potensi Daya Terbangkitkan

Berdasarkan persamaan 2.5 dapat dihitung potensi daya maksimum PLTM atau daya hidrolik, dengan densitas massa jenis air se*Ki*tar 1,03 0 kg/m^3 dan gaya gravitasi bumi g = 9,81 m/s^2, debit air Q = 3,3819 m^3/s , tinggi jatuh air H = 8,2 meter maka :

$$P = g \times \rho \times Q \times H$$
$$= 9{,}81 \times 1{,}030 \times 3{,}3819 \times 8{,}2$$
$$= 280{,}133\ Watt$$

Jadi, daya maksimum yang dapat dibangkitkan dari nilai potensi daya tanpa memperhitungka nilai efisiensi turbin dan generator adalah sebesar $P = 280{,}133\ Watt$.

b. Efisiensi Turbin

Sedangkan apabila nilai daya maksimum untuk efisiensi turbin jika diperhitungkan adalah sebagai berikut ini.

$$P_T = g \times \rho \times Q \times H \times \eta t$$
$$= 9{,}81 \times 1{,}030 \times 3{,}819 \times 8{,}2 \times 0{,}8$$
$$P_T = 253{,}139\ Watt$$

Jadi, total daya yang dapat dibangkitkan oleh generator PLTM setelah memperhitungkan efisiensi turbin adalah $P_T = 253{,}139\ Watt$.

c. Efisiensi Generator

Kemudian untuk daya maksimum jika efisiensi generator sinkron diperhitungkan

$$P_{Max} = g \times \rho \times Q \times H \times \eta t \times \eta g$$
$$= 9{,}81 \times 1{,}030 \times 3{,}819 \times 8{,}2 \times 0{,}8 \times 0{,}9$$
$$P_{Max} = 227.825\ Watt$$

Maka dapat diketahui daya maksumum yang dapat dibangkitkan oleh generator setelah nilai efisiensi turbin dan generator diperhitungkan adalah sebesar $P_{Max} = 227{,}825\ Watt$.

B. Perhitungan Kapasitas *Ballast Load.*

$P_{ballast} = 30\% \times potensi\ daya\ terbangkit$

$= 30\% \times 200\ kW$

$= 60\ kW$

C. Besar arus pada *ballast* load 30%

$I_{ballast} = \frac{Pballast}{\sqrt{3} \times V_{LL}} = \frac{9000}{\sqrt{3} \times 380} = 266{,}56\ A$

D. Besarnya komponen resistif yang dipasang

$R_{ballast} = \frac{V_{in}}{I_{ballast}} = \frac{9000}{380} = 23{,}69\ Ohm/phase$

E. Perhitungan Variasi Pembebanan

Kapasitas daya generator 325 kVA

Daya Aktual 250 kVA.

a. $S_{beban\ 10\%\ pf\ 0,8} = 160{,}000\ VA \times 10\%$

$= 25{,}000\ VA$

$P_{beban\ 10\%\ pf\ 0,8} = 25{,}000 \times 0{,}8$

$= 20{,}000\ W$

$Q_{beban\ 10\%\ pf\ 0,8} = 25{,}000 \times Sin\ 0{,}6$

$= 15{,}000\ VAR$

b. $S_{beban\ 20\%\ pf\ 0,8} = 250{,}000\ VA \times 20\%$

$= 50{,}000\ VA$

$P_{beban\ 20\%\ pf\ 0,8} = 50{,}000 \times 0{,}8$

$= 40{,}000\ W$

$Q_{beban\ 20\%\ pf\ 0,8} = 50{,}000 \times Sin\ 0{,}6$

$= 30{,}000\ VAR$

c. $S_{beban\ 30\%\ pf\ 0,8} = 250{,}000\ VA \times 30\%$

$= 75{,}000\ VA$

$P_{beban\ 30\%\ pf\ 0,8} = 75{,}000 \times 0{,}8$

$= 80{,}000\ W$

$Q_{beban\ 30\%\ pf\ 0,8}$ $= 75,000 \times Sin\ 0,6$

$= 45,000\ VAR$

d. $S_{beban\ 40\%\ pf\ 0,8}$ $= 250,000\ VA \times 40\%$

$= 100,000\ VA$

$P_{beban\ 40\%\ pf\ 0,8}$ $= 100,000 \times 0,8$

$= 80,000\ W$

$Q_{beban\ 40\%\ pf\ 0,8}$ $= 100,000 \times Sin\ 0,6$

$= 60,000\ VAR$

e. $S_{beban\ 50\%\ pf\ 0,8}$ $= 2500,000\ VA \times 50\%$

$= 125,000\ VA$

$P_{beban\ 50\%\ pf\ 0,8}$ $= 125,000 \times 0,8$

$= 100,000\ W$

$Q_{beban\ 50\%\ pf\ 0,8}$ $= 125,000 \times Sin\ 0,6$

$= 74,000\ VAR$

f. $S_{beban\ 60\%\ pf\ 0,8}$ $= 250,000\ VA \times 60\%$

$= 150,000\ VA$

$P_{beban\ 60\%\ pf\ 0,8}$ $= 150,000 \times 0,8$

$= 120,000\ W$

$Q_{beban\ 60\%\ pf\ 0,8}$ $= 150,000 \times Sin\ 0,6$

$= 90,000\ VAR$

g. $S_{beban\ 70\%\ pf\ 0,8}$ $= 250,000\ VA \times 70\%$

$= 175,000\ VA$

$P_{beban\ 70\%\ pf\ 0,8}$ $= 175,000 \times 0,8$

$= 140,000\ W$

$Q_{beban\ 70\%\ pf\ 0,8}$ $= 175,000 \times Sin\ 0,6$

$= 105,000\ VAR$

h. $S_{beban\ 80\%\ pf\ 0,8}$ $= 250,000\ VA \times 80\%$

$= 200,000\ VA$

$P_{beban\ 80\%\ pf\ 0,8}$ $= 200,000 \times 0,8$

$= 160,000\ W$

$Q_{beban\ 80\%\ pf\ 0,8}$ $= 200,000 \times Sin\ 0,6$

$= 120,000\ VAR$

i. $S_{beban\ 90\%\ pf\ 0,8}$ $= 250,000\ VA \times 90\%$

$= 225,000\ VA$

$P_{beban\ 90\%\ pf\ 0,8}$ $= 225,000 \times 0,8$

$$= 180{,}000\ W$$

$$Q_{beban\ 90\%\ pf\ 0,8} = 225{,}000 \times Sin\ 0{,}6$$

$$= 135{,}000\ VAR$$

j. $$S_{beban\ 100\%\ pf\ 0,8} = 250.000\ VA \times 100\%$$

$$= 250{,}000\ VA$$

$$P_{beban\ 100\%\ pf\ 0,8} = 250{,}000 \times 0{,}8$$

$$= 200{,}000\ W$$

$$Q_{beban\ 100\%\ pf\ 0,8} = 250{,}000 \times Sin\ 0{,}6$$

$$= 150{,}000\ VAR$$

F. Perhitungan Irms THD = TDD

$$THD = \frac{\sqrt{(38.333)^2 + (3.777)^2 + (3.466)^2 + (2.460)^2 + (2.183)^2 + (2.010)^2 + (1.663)^2 + (1.455)^2 + (1.351)^2}}{346.6} \cdot 100$$

$$x = 11{,}238\ \%$$

$$THD = \frac{\sqrt{(29.048)^2 + (4.650)^2 + (1.508)^2 + (2.522)^2 + (1.997)^2 + (1.646)^2 + (0.770)^2 + (0.350)^2 + (1.051)^2}}{331.6} \cdot 100$$

$$x = 8.95\ \%$$

$$THD = \frac{\sqrt{(27.987)^2 + (6.936)^2 + (3.382)^2 + (2.785)^2 + (2.155)^2 + (1.193)^2 + (1.685)^2 + (1.094)^2 + (1.193)^2}}{2a} \cdot 100$$

$$x = 8.85\ \%$$

G. Perhitungan PCC (*Point Of Common Coupling)*

$$I_{SC} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_{LL} \times Z} \times 100\%$$

$$I_{SC} = \frac{350 \times 10^5}{\sqrt{3} \times 400 \times 3} = 16.840\ A$$

$$I_L = \frac{S}{\sqrt{3} \times Vrms} \times 100\%$$

$$I_L = \frac{350 \times 10^5}{\sqrt{3} \times 400} = 50518\ A$$

$$Isc/_{I_L}\ Standar = \frac{16.840}{5051} = 3{,}33\ A$$

$$Isc/_{I_L}\ TDD = \frac{16.840}{\left(\frac{348{,}6 + 448{,}7 + 424{,}6}{3}\right)} = 41{,}34 = 8\%\ TDD$$

H. Perhitungan Arus Terdistorsi (I_{TRMS})

$$\Delta THDr = 346.6 \cdot \sqrt{1 + (0.11)^2} = 348{,}69\ A$$

$\Delta THDs = 350.4 \cdot \sqrt{1 + (0.8)^2} = 448{,}73\ A$

$\Delta THDt = 331.6 \cdot \sqrt{1 + (0.8)^2} = 424{,}65\ A$

I. Perhitungan Delta Daya

$P = \sqrt{3} \cdot 438.8 \cdot 63.37 \cdot 0.8$	$= 38530.17135$
$\Delta P = 40 - 38.53$	$= 1.47\ kW$
$P = \sqrt{3} \cdot 429.55 \cdot 124 \cdot 0.8$	$= 73805.0405$
$\Delta P = 60 - 73.796$	$= -13.796\ kW$
$P = \sqrt{3} \cdot 425.55 \cdot 153.6 \cdot 0.8$	$= 90539.75514$
$\Delta P = 80 - 90.53$	$= -10.53\ kW$
$P = \sqrt{3} \cdot 422 \cdot 182.9 \cdot 0.8$	$= 106949.0105$
$\Delta P = 100 - 106.94$	$= -6.94\ kW$
$P = \sqrt{3} \cdot 447.3 \cdot 249.5 \cdot 0.8$	$= 154639.3667$
$\Delta P = 120 - 154.63$	$= -34.63\ kW$
$P = \sqrt{3} \cdot 436.3 \cdot 221.8 \cdot 0.8$	$= 134090.3021$
$\Delta P = 140 - 134.09$	$= 5.91\ kW$
$P = \sqrt{3} \cdot 431.3 \cdot 249.3 \cdot 0.8$	$= 148988.3639$
$\Delta P = 160 - 148$	$= 12\ kW$
$P = \sqrt{3} \cdot 404.2 \cdot 262.6 \cdot 08$	$= 147075.9442$
$\Delta P = 180 - 147$	$= 33\ kW$
$P = \sqrt{3} \cdot 403.5 \cdot 291.3 \cdot 0.8$	$= 162867.578$
$\Delta P = 180 - 162$	$=17.14\ kW$

J. Sudut Kemiringan *Penstock*.

$$\sin \alpha^{\circ} = \frac{tinggi\ head}{panjang\ pipa\ pesat} = \frac{8{,}2\ meter}{115\ meter} = 0{,}0714$$

$$\sin \alpha^{\circ} = 40{,}94\ ^{\circ}$$

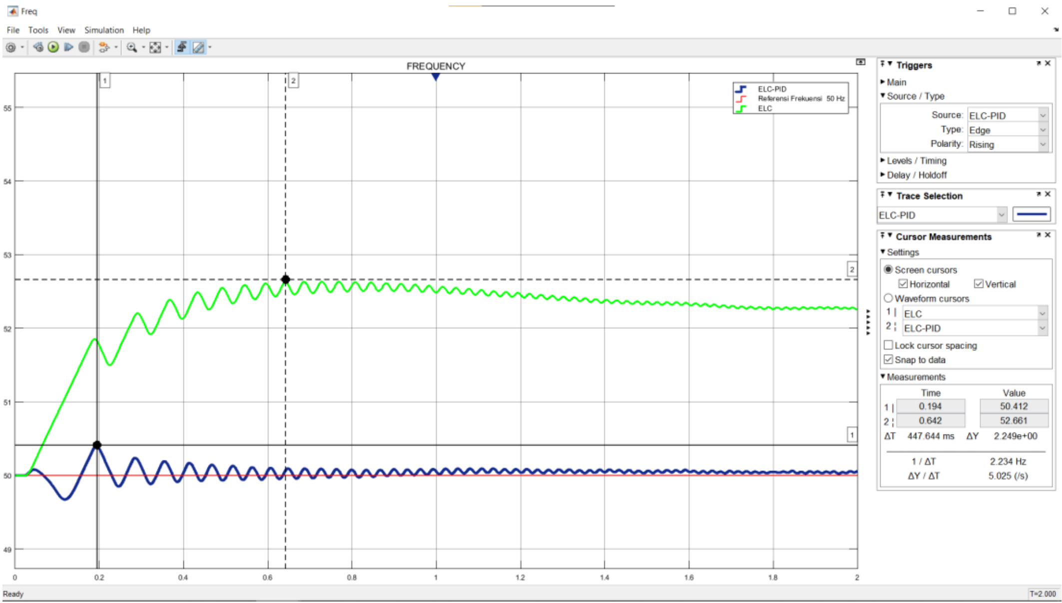
LAMPIRAN B PARAMETER KOMPONEN

Tabel Parameter Komponen Elektrikal pada PLTM

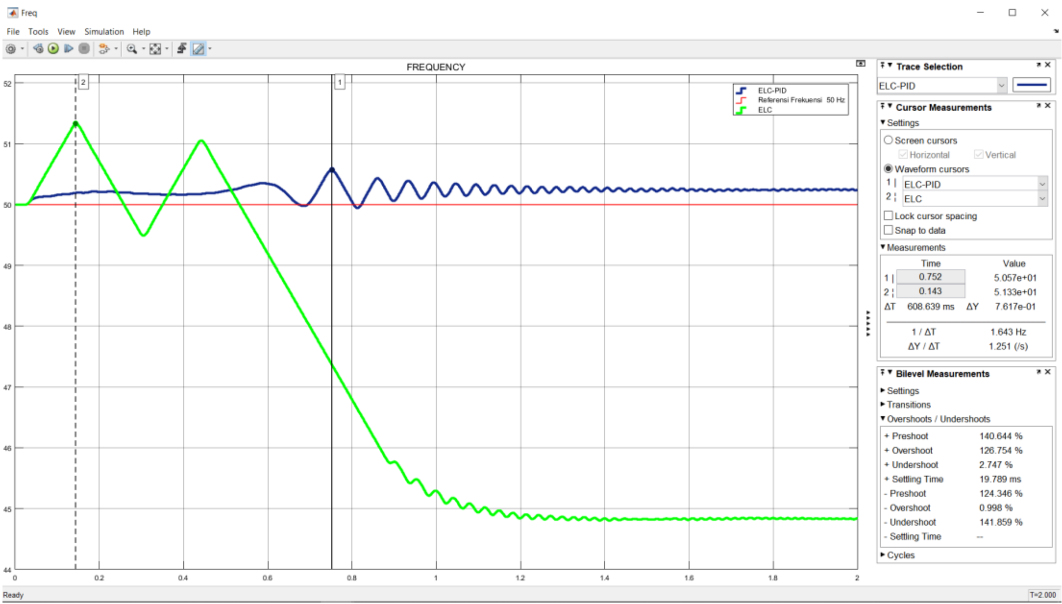
Komponen	Keterangan
KOMPONEN MEKANIKAL ELEKTRIKAL	
TURBIN	
Tipe	*Crossflow* T-15
Diameter *Runner*	500mm
Head	8,5 m
Debit air optimum	50 - 25,000 l/s
Ouput daya	5 - 300 kW
Putaran Turbin	750-2000 rpm
Transmission	Plat belt, gearbox or direct
Efisiensi	78 - 80%
GENERATOR	
Jenis	Generator Sinkron
Rating Power	250 kW/ 325 kVA
Frekuensi	50Hz
Fasa	3
Putaran Poros	2000 rpm
Jumlah Kutub	4
Tegangan	220/380 V
Power Factor	0,8
Efisiensi	95%
SISTEM TRANSMISI MEKANIK	
Tipe	Gearbox
SISTEM KONTROL	
Tipe	*Electronic Load Controller (ELC)*
Rating Power	250 kW
Frekuensi	50 Hz
Tegangan	380/600 V
BALLAST LOAD	
Tipe	*Air Heater*

LAMPIRAN C *TUNING* PID

1. *Output* Frekuensi 50 kW *Overshoot*

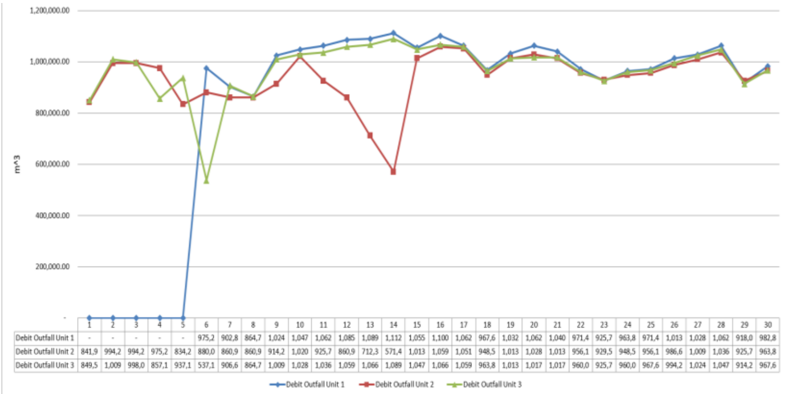


2. *Output* Frekuensi 200 kW *Overshoot*



LAMPIRAN D DATA DEBIT

1. *(Flow Duration Curve) Outfall* kondensor PLTU Lontar.



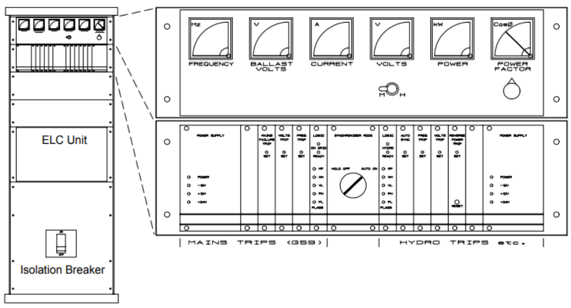
2. Data Debit *Outfall* Kondensor Unit 1- 3 Bulan November 2020

OUTFALL				
INDONESIA POWER	PT INDONESIA POWER PLTU BANTEN 3 LONTAR OMU INDONESIA POWER INTEGRATED MANAGEMENT SYSTEM FORM LIMBAH BAHANG UNIT 1- 3			
Tgl	Jam	Debit Outfall Unit 1	Debit Outfall Unit 2	Debit Outfall Unit 3
		< 1192000	< 1192000	< 1192000
		m3/hari	m3/hari	m3/hari
1	10.00	stop	841.904,762	849.523,81
2	10.00	stop	994.285,714	1.009.523,81
3	10.00	stop	994.285,714	998.095,238
4	10.00	stop	975.238,095	857.142,857
5	10.00	stop	834.285,714	937.142,857
6	10.00	975.238,095	880.000	537.142,857
7	10.00	902.857,143	860.952,381	906.666,667
8	10.00	864.761,905	860.952,381	864.761,905
9	10.00	1.024.761,905	914.285,714	1.009.523,81
10	10.00	1.047.619,048	1.020.952,381	1.028.571,429
11	10.00	1.062.857,143	925.714,286	1.036.190,476
12	10.00	1.085.714,286	860.952,381	1.059.047,619
13	10.00	1.089.523,81	712.380,952	1.066.666,667
14	10.00	1.112.380,952	571.428,571	1.089.523,81
15	10.00	1.055.238,095	1.013.333,333	1.047.619,048
16	10.00	1.100.952,381	1.059.047,619	1.066.666,667
17	10.00	1.062.857,143	1.051.428,571	1.059.047,619
18	10.00	967.619,048	948.571,429	963.809,524
19	10.00	1.032.380,952	1.013.333,333	1.013.333,333
20	10.00	1.062.857,143	1.028.571,429	1.017.142,857
21	10.00	1.040.000	1.013.333,333	1.017.142,857
22	10.00	971.428,571	956.190,476	960.000
23	10.00	925.714,286	929.523,81	925.714,286
24	10.00	963.809,524	948.571,429	960.000
25	10.00	971.428,571	956.190,476	967.619,048
26	10.00	1.013.333,333	986.666,667	994.285,714
27	10.00	1.028.571,429	1.009.523,81	1.024.761,905
28	10.00	1.062.857,143	1.036.190,476	1.047.619,048
29	10.00	918.095,238	925.714,286	914.285,714
30	10.01	982.857,143	963.809,524	967.619,048
Nilai Rata -Rata		1.013.028,571	935757,58	973206,35
Nilai Tertinggi		1.112.380,952	1059047,62	1089523,81
Nilai Terendah		864.761,905	571428,57	537142,86

LAMPIRAN E KOMPONEN ELC

1. Model *Mainscone*

Control Unit showing Metering and plug-in Modules



Mainscon Rack

2. Spesifikasi ELC

ELECTRONIC LOAD CONTROLLER SIZING

DESCRIPTIONS	SPECIFICATIONS				
	51-60 kW	61-70 kW	71-80 kW	81-90 kW	91-100 kW
METERING					
Pilot lamp - 3P	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Ampermeter ballast load - 3P	CT 100/5 A	CT 150/5 A	CT 150/5 A	CT 200/5 A	CT 200/5 A
Ampermeter main load - 3P	CT 100/5 A	CT 150/5 A	CT 150/5 A	CT 200/5 A	CT 200/5 A
Voltmeter generator - 1P	0-300 V	0-300 V	0-300 V	0-300 V	0-300 V
Frequency meter generator - 1P	45-55 Hz	45-55 Hz	45-55 Hz	45-55 Hz	45-55 Hz
Hour Counter	6 digit	6 digit	6 digit	6 digit	6 digit
Digital multi meter CVM NRG (V,I,Hz,kW,kWh,PF,kVA,etc)	Included	Included	Included	Included	Included
PROTECTION					
MCCB main load	100A	125A	160A	200A	200A
Contactor main load	100A	125A	160A	200A	200A
Fuse/MCB protection	3x2A	3x2A	3x2A	3x2A	3x2A
Over/underfrequency relay	47.5/52.5 Hz	47.5/52.5 Hz	47.5/52.5 Hz	47.5/52.5 Hz	47.5/52.5 Hz
Cooling fan	12 cm fan	12 cm fan	12 cm fan	12 cm fan	12 cm fan
Lightning arrester	3P+N	3P+N	3P+N	3P+N	3P+N
Grounding	PEN	PEN	PEN	PEN	PEN
CABLES & DIMENSION					
Main load cable size	25 mm²	35 mm²	35 mm²	50 mm²	50 mm²
Ballast load cable size - x2	10 mm²	16 mm²	16 mm²	25 mm²	25 mm²
THYRISTOR Size	6xSKKT57	6xSKKT92	6xSKKT92	6xSKKT132	6xSKKT132
Cubicle dimension (cm)	60x80x30	60x80x30	60x80x30	80x120x40	80x120x40
Generator cables size - 4 pcs	4x35	4x35	4x50	4x50	4x50
Approximate Weight	±45 kg	±53 kg	±58 kg	±80 kg	±80 kg
BALLAST LOAD					
Rated Voltage	220 or 230	220 or 230	220 or 230	220 or 230	220 or 230
Ballast amount (pcs)	6	6	6	6	6
Ballast capacity per element	12 - 14 kW	14 - 16 kW	16 - 18 kW	18 - 20 kW	19 - 21 kW
Ballast cables size - 7 pcs	4x10 mm2	4x16 mm2	4x16 mm2	4x25 mm2	4x25 mm2
Approximate Weight	±40 kg	±47kg	±54 kg	±68 kg	±73 kg

- *Spesifikasi tidak mengikat dan dapat berubah sewaktu-waktu*

PROTEL MULTI ENERGY – www.pme-bandung.com Page 9

KOMPONEN F REFERENSI AKTUAL

1. Trafo Referensi THD

2. Generator Aktual

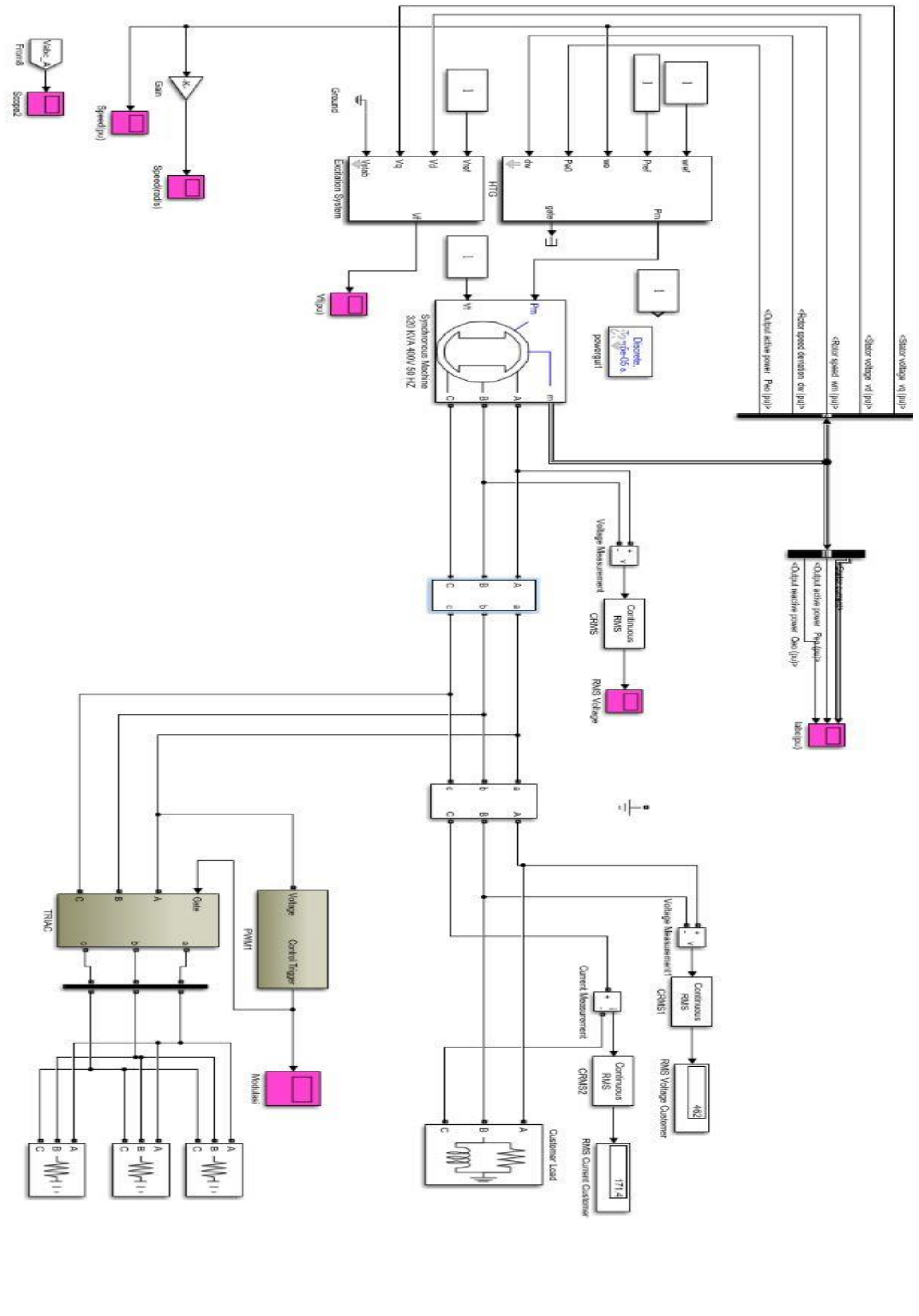
GSV – generators with salient poles

Output:	100 – 30,000 kVA
Voltage:	400 – 13,800 V
Speed:	250 – 1,500 rpm
Protection:	IP 23 - IP 56
Form:	horizontal/vertical

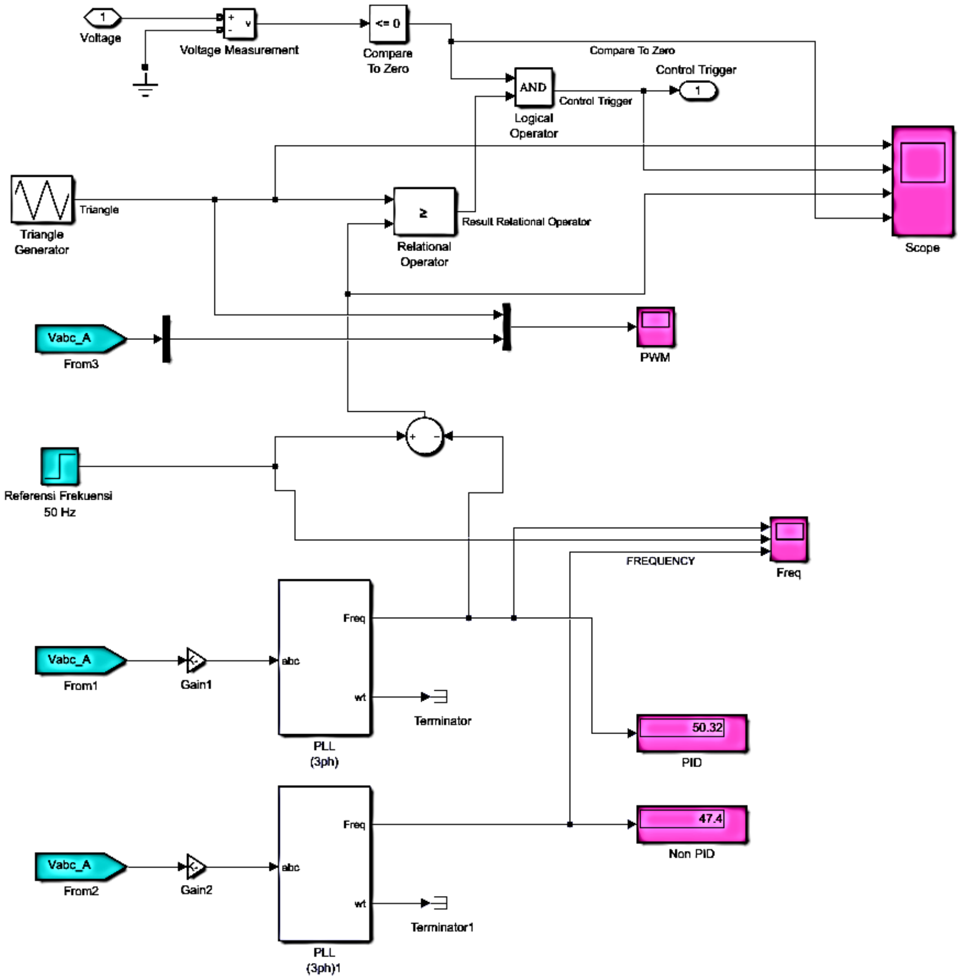
3. Lokasi Perencanaan PLTM pada PLTU Banten 3 Lontar

LAMPIRAN G GAMBAR PENGUJIAN

1. Pengujian PLTM dengan Variasi Pembebanan



2. Pemodelan *Switching* PWM pada Simulasi Generator Sinkron



LAMPIRAN H DATA HASIL PENGUJIAN

1. Hasil Pengujian Beban Tanpa Beban Komplemen

Beban (%)	Frekuensi (Hz)	Arus (A)	Tegangan (V)	Daya Beban Komplemen	*Cos Phi*	P_{beban} (kW)	ΔP (kW)
10	58,19	38,12	422,4	0	0,8	20	2,78
20	51,21	63,37	438,8	0	0,8	40	1,47
30	51,98	124	429,5	0	0,8	60	13,79
40	52,44	153,6	425,4	0	0,8	80	10,53
50	52,82	182,9	422	0	0,8	100	6,94
60	49,07	249,5	447,3	0	0,8	120	34,63
70	48,70	221,8	436,3	0	0,8	140	5,91
80	49	249,3	431,3	0	0,8	160	11.02
90	48,99	262,6	404,2	0	0,8	180	32.93
100	47,69	291,3	403,5	0	0,8	200	17.14

2. Hasil Pengujian Beban Tanpa Rangkaian Kendali

Beban (%)	Frekuensi (Hz)	Tegangan (V)	*Cos Phi*	Daya Beban Utama (kW)	Daya Beban Komplemen (kW)
10	55,23	599	0,8	20	-
20	53,96	561	0,8	40	-
30	53,6	597	0,8	60	-
40	54,12	472	0,8	80	-
50	54,74	455	0,8	100	-
60	52,82	442	0,8	120	-
70	51,9	413	0,8	140	50,9
80	50,9	391	0,8	160	42,06
90	46,88	399	0,8	180	35,88
100	46,08	384	0,8	200	29,97

3. Hasil Pembebanan Generator Menggunakan Kendali PID

Beban (%)	Frekuensi (Hz)	Arus (A)	Tegangan (V)	Cos phi	P_{beban} (kW)
10	50,03	46,92	570	0.8	20
20	50,03	85,42	51	0.8	40
30	50,02	118,1	522	0.8	60
40	50,04	146,4	491	0.8	80
50	50,05	171,4	462	0.8	100
60	50,00	194,3	436	0.8	120
70	50,09	213,9	413	0.8	140
80	50, 02	229,5	391	0.8	160
90	50,03	244,5	368	0.8	180

100	49, 82	253,3	352	0.8	200

4. Hasil Perbandingan Pengukuran dan Perhitungan Arus Harmonisa pada Kondisi *Peak load*

h	I_R	I_S	I_T	I_R	I_S	I_T	I_{HDi}
	(%)			(%)			
1	100	100	100	346,6	331,6	350,4	-
3	11,06	8,44	8,29	38,333	27,987	29,048	Tidak Standar
5	1,09	2,10	1,36	37,777	6,963	4,765	Tidak Standar
7	1,00	1,02	0,43	3,466	3,382	4,506	Tidak Standar
9	0,71	0,84	0,72	2,460	2,785	2,522	Sesuai Standar
11	0,63	0,65	0,57	2,183	2,155	1,997	Sesuai Standar
13	0,58	0,36	0,47	2,010	1,193	1,646	Sesuai Standar
15	0,48	0,50	0,22	1,663	1,658	0,770	Sesuai Standar
17	0,42	0,33	0,10	1,455	1,094	0,350	Sesuai Standar
19	0,39	0,36	0,30	1,351	1,193	1,051	Sesuai Standar

5. Perbandingan Hasil Simulasi THDv dengan Standarisasi

***Load* (kW)**	**Standar IEEE 519-2014 THD (%)**	**Hasil Simulasi THD (%)**	**Hasil TDD Tegangan (%)**	**Keterangan**
20	5	57,94	57,94	Perlu kompensasi
40	5	38,79	38,79	Perlu kompensasi
60	5	34,04	34,04	Perlu kompensasi
80	5	35,75	35,75	Perlu kompensasi
100	5	33,20	33,20	Perlu kompensasi
120	5	25,01	25,01	Perlu kompensasi
140	5	16,33	16,33	Perlu kompensasi
160	5	5,46	5,46	Perlu kompensasi
180	5	3,16	3,16	Sesuai Standar
200	5	2,54	2,54	Sesuai Standar

6. Tabel Hasil Perencanaan Bangunan PLTM *Outfall* Kondensor

Komponen Penunjang	
Bangunan	Keterangan
Tinggi Kotor *Head*	10 m
Tinggi Bersih *Head*	8,2 m
Reality Flow	3,38 m^3/detik
Daya Listrik	227 kW
Tipe *Intake*	*Off-take* dari saluran *output* kondensor
Bak Pengendap	Satu bak pengendap lebar 3 m panjang 20 m dilengkapi dengan dinding pelimpah
Headrace	Saluran terbuka dari pasangan batu sepanjang 150 m dan saluran tertanam (pipa) sepanjang 70 m
Spillway	Terpadu dengan bak pengendap dan saringan tyrolean
Pipa Pesat	Pipa dari pelat diameter: 380 mm, panjang 45 m

LAMPIRAN I RANCANG BANGUN SIPIL DENGAN *SOFTWARE* AUTOCAD