RANCANGAN SISTEM SUPLAJ DAYA DARURAT PADA PLTG TANJUNG UNCANG 2X35 MW

Ali Mashar, Siti Saodah, Achmad Maulana Fathi

Program Studi Teknologi Pembangkit Tenaga Listrik

Jurusan Teknik Konversi Energi - Politeknik Negeri Bandung

Jl. Gegerkalong Hilir, Ds. Ciwaruga – Bandung 4551

Email : ss_herlina@yahoo.com / siti.saodah@polban.ac.id

Abstrak

Pada sebuah pembangkit listrik terdapat peralatan-peralatan vital tambahan (*auxiliary load*) yang tidak dapat terputus suplai dayanya baik dalam keadaan normal maupun dalam keadaan darurat (suplai daya dari generator utama terputus). Sistem suplai daya darurat merupakan sistem yang bertugas mensuplai daya pada beban vital tambahan ketika keadaan darurat (*emergency*). Komponen utama dari sistem suplai daya darurat adalah *Emergency Diesel Generator (EDG)* berfungsi sebagai pensuplai daya pada sistem tersebut. Besarnya rating daya dari EDG ditentukan dari jumlah beban vital tambahan yang akan disuplai. Berdasarkan pertimbangan kebutuhan daya bebanya, spesifikasi EDG yang digunakan pada PLTG Tanjung Uncang 2x35 MW adalah 1225 kVA dengan tegangan nominal 6,6 kV, frekuensi 50 Hz dan PF 0,8. *Electric Transient and Analysis Program (ETAP)* digunakan untuk memverifikasi data beban vital tambahan dan untuk melakukan simulasi *load flow* dan *short circuit* pada sistem. Simulasi *load flow analysis* dilakukan untuk mengetahui aliran daya yang mengalir pada jaringan, sedangkan *short circuit analysis* dilakukan untuk melihat arus gangguan yang mengalir ketika terjadi *short circuit* (*hubung singkat*). Dari simulasi *load flow analysis* didapatkan bahwa daya yang mengalir dari generator menuju jaringan sebesar 754 kW. Dari simulasi *short circuit analysis* didapatkan jika Bus LV1 terjadi gangguan 3phase fault 1.631 kA, jika sumber kegagalan terjadi pada Bus LV2 L-G 1.222 kA. Sedangkan jika sumber kegagalan terjadi pada Bus MV1 L-L 0.313 kA, jika sumber gangguan terjadi pada Bus MV2 L-L-G 0.260 kA dan jika sumber kegagalan terjadi pada Bus DC sebesar 5.342 kA.

Kata kunci : EDG, Sistem Suplai Daya Darurat, Load Flow, Short Circuit, ETAP.

1. PENDAHULUAN

Pada dasarnya, sistem kelistrikan yang baik adalah sistem kelistrikan yang menjamin keberlangsungannya dengan tidak mengenal waktu. Jika sistem utama terjadi kerusakan atau gangguan yang dapat memutus keberlangsungan berjalannya sistem kelistrikan, maka disinilah diperlukannya *backup system* agar sistem kelistrikan dapat terjaga keberlangsungannya. Hal ini dikarenakan peralatan listrik merupakan peralatan yang rentan terkena kerusakan jika dimatikan dengan tidak mengikuti prosedur yang diberikan oleh perusahaan produksinya. Sehingga kelancaran suplai daya adalah kunci pertama dari keandalan sistem kelistrikan secara umum. Oleh karena itu untuk mendapatkan suplai daya secara berkelanjutan haruslah memperhitungkan setiap kejadian yang akan terjadi baik ketika normal maupun ketika darurat (*emergency*).

Dalam *backup system* kelistrikan pada pembangkit listrik terdapat beberapa komponen yaitu *Uninterruptable Power System (UPS)*, *Startup Diesel Generator*, dan *Emergency Diesel Generator (EDG)*. EDG merupakan *generator set* (*genset*) yang berfungsi sebagai pensuplai daya untuk beban-beban vital tambahan (*auxiliaryload*) pada pembangkit ketika dalam keadaan darurat. Keadaan darurat yang dimaksud adalah keadaan ketika suplai daya dari generator utama (*main generator*) mengalami gangguan atau generator utama bekerja pada kondisi tidak normal.

Beban-beban vital tambahan (*auxiliary load*) merupakan beban-beban tambahan yang tidak dapat terputus suplai dayanya, baik ketika keadaan normal maupun keadaan darurat. Hal ini dikarenakan beban-beban tambahan tersebut berperan sangat penting dalam pengoperasian sebuah pembangkit listrik. Sebagai contoh beban vital tambahan adalah *auxiliary lube oil pump*

motor yang berfungsi sebagai pompa pendistribusian minyak pelumas untuk bearing pada generator utama yang memerlukan tekanan tertentu dan untuk menjaga tekanan tersebut pompa minyak tidak boleh mati. Oleh karenanya catu daya listrik pompa harus tetap hidup. Di sini dibutuhkan EDG untuk menjaga pompa tetap beroperasi. Banyak peralatan lain sejenis yang harus dijaga keberlangsungan kerjanya walaupun tidak ada sumber dari generator utama.

Berdasarkan permasalahan diatas maka dilakukan kajian terkait perancangan sistem suplai daya darurat pada PLTG Tanjung Uncang dengan kapasitas 2x35 MW.

2. METODOLOGI

Perancangan suplai daya darurat pada PLTG dimulai dengan indentifikasi terhadap beban-beban vital dan spesifikasi tekniknya, yang nantinya akan disuplai oleh EDG. Selajutnya dilakukan perhitungan jumlah beban vital yang akan disuplai oleh EDG, yang nantinya akan dijadikan landasan untuk menentukan spesifikasi dari EDG.

Perancangan diagram satu garis dari sistem suplai daya darurat didasarkan pada tegangan nominal beban vital yang ada pada PLTG Tanjung Uncang. Analisis dilakukan dengan menggunakan aplikasi *software Electrical Transient Analysis Program (ETAP)*. Sistem kelistrikan dari pembangkit merupakan koneksi antara generator, grid dan komponen tambahan dalam pembangkit listrik yang membutuhkan daya listrik untuk berfungsi. Sistem kelistrikan pada PLTG secara umum ditunjukkan pada Gambar 1.

a. Backup System Kelistrikan Pembangkit

Sistem kelistrikan yang baik adalah sistem kelistrikan yang terjamin kelangsungannya dengan tidak mengenal waktu. Pada saat sistem utama terjadi kerusakan atau gangguan yang sekitarnya dapat memutus keberlangsungan berjalannya sistem kelistrik, maka disitu mutlak diperlukannya *backup system*, agar sistem kelistrikan dapat terjaga keberlangsungannya.

Gambar 1. Diagram Satu Garis Sistem Kelistrikan PLTG

Dengan *backup system*, walaupun secara kuantitas sistem kelistrikan tidak tersuplai secara keseluruhan namun pada pembangkit ada beberapa peralatan-peralatan yang harus selalu tersuplai oleh tegangan setiap saat, sehingga keberlangsungan suplai daya pada peralatan-peralatan yang menjadi prioritas tidak terganggu. Dalam *backup system* terdapat tiga komponen yaitu *Uninterruptable Power System (UPS)*, *Startup Diesel Generator*, *Emergency Diesel Generator (EDG)* yang bekerja sesuai dengan fungsinya [1]. Untuk lebih mengenal komponen dari sistem *backup* kelistrikan pada pembangkit, berikut merupakan penjelasan dari komponen-komponen yang dimaksud.

1. Uninterruptable Power System (UPS)

Sesuai dengan namanya UPS merupakan sistem daya kebal terhadap gangguan, kebal yang dimaksud adalah suplai daya yang tidak terganggu walau suplai daya dari sumber utama mengalami gangguan. Secara umum, skema UPS dapat dilihat pada Gambar 2.

Gambar 2. Skema UPS

Terdapat 3 jenis UPS yaitu *Interactive UPS*, *On-line UPS*, dan *Off-line UPS*. Kriteria pemilihan UPS meliputi kapasitas daya, keandalan dan lamanya waktu *backup* yang diperlukan. Besarnya daya dan waktu *backup* akan langsung menentukan ukuran baterai yang diperlukan. Jika waktu *backup* yang dipersyaratkan sangat panjang, baterainya sangat besar dan mahal.

2. Startup Diesel Generator

Dalam sebuah sistem *backup* kelistrikan pembangkit, terdapat *diesel generator* yang berfungsi sebagai sumber daya jika *generator* utama mengalami gangguan. *Startup diesel generator* merupakan salah satunya, seperti namanya *startup diesel generator* mempunyai fungsi untuk mensuplai daya pada saat *starting* pembangkit. Besarnya rating daya dari *startuo generator* tergantung dari beban awal yang akan disuplai. Beban-bekan yang akan disuplai oleh *startup diesel generator* merupakan komponen utama dari pembangkit yang memiliki peranan sangat penting pada saat pengoperasian awal embangkit.

3. Emergency Diesel Generator (EDG)

Sesuai dengan namanya EDG merupakan generator set yang dioperasikan pada saat keadaan darurat (*emergency*). Keadaan darurat dimana suplai daya dari generator utama mengalami gangguan. Berbeda dengan *startup diesel generator*, EDG mempunyai fungsi sebagai pensuplai daya kepada beban vital tambahan (*auxiliary load*) yang biasanya bekapasitas daya kecil sampai menengah. Sehingga Edg dapat didefinisikan sebagai peralatan pembangkit yang bertujuan

untuk segera dapat membantu suplai daya pada beban vital tambahan.

b. Sistem Suplai Daya Darurat

Sistem tenaga darurat merupakan sistem daya cadangan yang berfungsi mensuplai daya pada beban vital tambahan, ketika sumber daya utama hilang atau mati. Daya utama dapat hilang karena gangguan jaringan, gangguan pada generator utama, atauoun kesalahan fungsi pada distribusi daya. Dalam sistem suplai daya darurat *emergency diesel generator* (EDG) berfungsi sebagai suplai daya dan terdapat beberapa komponen seperti sistem jaringan, sistem proteksi dan sistem pembebanan. Sistem suplai daya darurat, ditunjukkan oleh Gambar 3.

Gambar 3. Diagram Satu Garis Sistem Suplai Daya Darurat

Sistem suplai daya darurat terbagi menjadi empat bagian yaitu : sistem *emergency diesel generator* (EDG), sistem jaringan, sistem proteksi dan sistem beban.

1. Sistem Emergency Diesel Generator (EDG)

EDG merupakan sebuah generator set yang berfungsi untuk mensuplai beban vital tambahan (*auxiliary load*) ketika keadaan darurat, keadaan darurat yang dimaksud adalah ketika generator utama tidak berfungsi atau sedang mengalami gangguan. Beban vital tambahan merupakan beban plihan yang

jika terputus dayanya dapat menyebabkan kerusakan pada sistem utama pembangkit.

2. Sistem Jaringan

Distribusi daya diklasifikasikan menjadi lima model jaringan yaitu jaringan radial, jaringan hantaran penghubung, jaringan lingkaran (*loop*), jaringan *spindel*, dan sistem gugus atau kluster.

3. Sistem Proteksi

Sistem proteksi merupakan sistem pengamanan pada peralatan listrik untuk melindungi alat listrik dari gangguan dan bekerja pada kondisi abnormal. Keandalan dan kemampuan suatu sistem tenaga listrik dalam mensuplai daya sangat bergantung pada sistem proteksi yang digunakan. Sistem proteksi terdiri dari pemutus tenaga (*circuit breaker*), relai proteksi (*protection relay*), transformator arus, transformator tegangan dan data daya.

4. Sistem Beban

Sistem pembebanan terdapat tiga sifat beban yaitu resistif, kapasitif, dan induktif.

a. Beban Resistif

Beban resistif merupakan suatu resistor murni dan hanya menyerap daya aktif.

$$R = \frac{V}{I} \dots\dots\dots 1$$

b. Beban Induktif

Konstruksi beban induktif terdiri dari kumparan kawat yang dililitkan pada sebuah inti, biasanya inti besi. Faktor daya beban induktif antara 0-1 *lagging*.

Gambar 4. Arus, Tegangan dan GGL Pada Beban Induktif

Beban induktif menyerap daya aktif dan daya reaktif dengan fasa tegangan mendahului arus sebesar ϕ .

c. Beban Kapasitif

Beban kapasitif mengandung suatu rangkaian kapasitor dengan faktor daya antara 0-1 *leading*. Beban kapasitif menyerap daya aktif dan mengeluarkan daya reaktif.

Gambar 5. Arus dan Tegangan GGL Pada Beban Kapasitif

Pada ETAP 12.0.6, terdapat 3 jenis beban yaitu *static load*, *motor* dan *lumped load*.

1) Static Load

Static Load atau beban statis merupakan beban yang tidak memiliki kumparan dan tidak berputar. Daya static load satu phase :

$$P = V \cdot I \dots\dots\dots 2$$

Untuk 3 phase

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \dots\dots\dots 3$$

2) Motor

Motor listrik digunakan untuk mengkonversi energi listrik menjadi energi mekanik. Daya input motor satu phase :

$$P = V \cdot I \cdot \cos\phi \dots\dots\dots 4$$

Daya input tiga phase seimbang

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos\phi \dots\dots\dots 5$$

3) Lumped Load

Lumped Load merupakan beban gabungan dari beban statis dan motor, dengan kata lain *lumped load* dapat diartikan sebagai beban yang diasumsikan dapat menjadikan beban statis dan dapat menjadi beban motor.

c. Analisa Daya

Dalam merancang sebuah sistem jaringan listrik, dilakukan *Load flow analysis* dan *short circuit analysis* untuk mengetahui keandalan dari jaringan.

Load Flow Analysis

Studi aliran daya (*load flow*) digunakan untuk mengetahui besar vektor tegangan pada tiap bus dan besar aliran daya pada tiap cabang suatu jaringan untuk suatu kondisi beban tertentu dalam kondisi normal, Hasil perhitungan digunakan untuk menelaah berbagai persoalan yang berhubungan dengan keandalan sistem jaringan[2]. Metode perhitungan yang digunakan pada studi aliran daya antara lain : *Newton-Raphson*, *Adaptive Newton Rapshon*, *Fast Decoupled* dan *Acclerated Gauss Seidel*.

a. Newton Raphson Method

Metode *Newton Raphson* merumuskan dan diselesaikan itertatif persamaan aliran daya sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta V \end{bmatrix} \dots\dots\dots 6$$

b. Adaptive Newton Rapshon

Metode *Adaptive Newton Rapshon* merumuskan dan diselesaikan iteratif persamaan aliran daya sebagai berikut:

$$f(X_k + \alpha_k \times \Delta x_k) < f(x_k) \dots\dots 7$$

c. Fast Decoupled

Metode *Fast Decoupled* merumuskan dan diselesaikan itertatif persamaan aliran daya sebagai berikut:

$$[\Delta P] = [J_1][\Delta \delta] \dots\dots\dots 8$$

$$[\Delta Q] = [J_2][\Delta V] \dots\dots\dots 9$$

d. Acclerated Gauss

Metode *Acclerated Gauss Seidel* merumuskan dan diselerakan iteratif persamaan aliran daya sebagai berikut:

$$[P + jQ] = [V^T][Y_{bus}][V] \dots\dots\dots 10$$

Short Circuit Analysis

Hubungan singkat atau *short circuit* terjadi karena dua titik potensial terhubung secara langsung atau beban 0 (nol) sehingga terjadi aliran arus yang tidak normal dan sangat besar yang biasa. Arus yang ditimbulkan jauh lebih besar dari arus pengenal (arus nominal) peralatan

dan terjadi penurunan tegangan pada sistem tenaga listrik. Bila gangguan tidak segera dihilangkan dapat merusak peralatan dalam sistem. Besarnya arus hubung singkat dinyatakan dengan persamaan :

$$i = \frac{V_{maks}}{|Z|} \left[\sin(\omega t + \alpha) - \epsilon^{-\frac{Rt}{L}} \sin(\alpha - \theta) \right] \dots\dots 11$$

Jenis *short circuit* dibagi menjadi empat yaitu 3 *phase fault*, *line to ground fault (L-G)*, *line to line fault (L-L)*, dan *line to line to ground fault (L-L-G)*.

3. PERANCANGAN SISTEM SUPLAJ DARURAT

Static Load

Berlandaskan data beban pada PLTG Tanjung Uncang yang tidak dapat terputus suplai dayanya dan yang termasuk *static load* ditunjukkan pada Tabel 1. Dari perhitungan beban *static load* didapatkan total daya adalah 42.865 kVA yang dibulatkan menjadi 42.9 kVA.

Motor

Berdasarkan data beban pada PLTG Tanjung Uncang yang tidak dapat terputus suplai dayanya, berikut klasifikasi bebarang termasuk motor ditunjukkan pada Tabel 2. Dari perhitungan didapat total daya pada motor adalah 770.341 kVA yang dibulatkan menjadi 770.3 kVA. Sehingga didapatkan total daya beban vital pada PLTG Tanjung Uncang adalah 813.2 kVA.

Pemilihan Jenis Genset

Untuk menentukan spesifikasi EDG harus memperhitungkan jumlah beban yang akan disuplai [3][4]. Dari perhitungan total daya beban baik *static load* dan motor didapat total beban yang harus disuplai EDG sebesar 813.2 kVA. Brdesarkan *Caterpillar*, faktor beban untuk genset *standby* tidak boleh melebihi 70%. Sehingga dapat dihitung bahwa rating daya untuk EDG adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Rating Daya} &= \frac{\text{jumlah beban}}{\text{faktor beban maksimum}} \\ &= \frac{813,2 \text{ kVA}}{70\%} \\ &= 1161,72 \text{ kVA} \end{aligned}$$

Tabel 1. Klasifikasi Beban *Static*

NO	Name	Volt
1	Anti-condensation heater for motor 88BT-1	230 VAC
2	Anti-condensation heater for motor 88BT-2	230 VAC
3	Auxiliary compartment heater	400 VAC
4	Load compartment heater	400 VAC
5	Turbine compartment heater	400 VAC
6	Gas mass flow transmitter	230 VAC
7	Gas compartment heater	400 VAC
8	Anti-condensation heater for motor 88QV-1A	230 VAC
9	Heat tracing for G064	230 VAC
10	Motor valve off-line compressor water wash	230 VAC
11	Motor valve on-line compressor water wash	230 VAC
12	Anti-condensation heater for motor 88CR	230 VAC
13	Anti-condensation heater for motor 88HQ-1	230 VAC
14	Anti-condensation heater for motor 88QA	230 VAC
15	Anti-condensation heater for motor 88TK-1	230 VAC
16	Anti-condensation heater for motor 88TK-2	230 VAC
17	Anti-condensation heater for motor 88TK-3	230 VAC
18	Ignition transformer for 95SP-1	230 VAC
19	Ignition transformer for 95SP-10	230 VAC
20	GT unit acoustical package normal lighting	230 VAC
21	GT unit acoustical package sockets	230 VAC
22	GT unit acoustical package emergency lighting	125 VDC
23	GT air flow control (95BT-1 to 95BT-3)	125 VDC
24	Load compartment lighting	125 VDC
25	Gas module acoustical package emergency lighting	125 VDC
26	Gas module air flow control (95VL- to 95VL-3)	125 VDC
27	Total air filter	230 VAC
28	Total air filter	400 VAC
29	Total air filter	230 VAC

Tabel 2. Klasifikasi Beban Motor

NO	Name	Volt
1	Cooling air fan motor-acoustical enclosure GT compartment	400 VAC
2	Cooling air fan motor-acoustic enclosure GT compartment	400 VAC
3	Cooling air fan motor-acoustic exhaust plenum compartment	400 VAC
4	Cooling air fan motor-acoustic enclosure exhaust plenum compartment	400 VAC
5	Cooling air fan motor acoustic enclosure load compartment	400 VAC
6	Cooling air fan acoustic enclosure load compartment	400 VAC
7	Cooling air fan motor gas module acoustic enclosure	400 VAC
8	Cooling air fan gas module acoustic enclosure	400 VAC
9	Lube oil mist eliminator motor	400 VAC
10	Cranking motor	6.6 kV
11	Auxiliary hydraulic supply pump motor	400 VAC
12	Hydraulic ratchet pump motor	125 VDC
13	Auxiliary lube oil pump motor	400 VAC
14	Emergency lube oil pump motor	125 VDC
15	Turbine exhaust frame cooling blower & motor	400 VAC
16	Turbine exhaust frame cooling blower & motor	400 VAC
17	Turbine exhaust frame cooling blower & motor	400 VAC

Dengan faktor daya sebesar 0.8 maka berikut spesifikasi dari Edg yang akan digunakan:

Rating Daya : 1161,72 kVA
 Faktor Daya : 0,8
 Tegangan Nominal : 6,6 kV
 Frekuensi : 50 Hz

Berdasarkan genset yang ada dipasaran maka spesifikasi yang paling mendekati adalah *Mitsubishi MGS 100HV type 56S-P18* dengan spesifikasi sebagai berikut [5] :

Gambar 6. *Mitsubishi MGS 1000HV type 56S-P18*

Generator Specification

Name : *Mitsubishi MGS 100HV type 56S-P18*
 Power : 12225 kVA
 Voltage : 6,6 kV
 Frequency: 50Hz
 PF : 0.8

Rancangan Diagram Satu Garis Sistem Suplai Daya Darurat

Dari data beban yang diperoleh, gambar 7, untuk PLTG Tanjung Uncang terdapat beberapa beban-beban yang memiliki tegangan yang berbeda, sehingga dapat dibagi menjadi beberapa bus yaitu *HV Bus (150kV)*, *Bus MV1 (11,5 kV)*, *Bus MV2 (6,6 kV)*, *Bus LV1 (0,4 kV)*, *Bus LV2 (0,23 kV)*, dan *DC Bus (0,13kV)*.

Analisis Rancangan

Load Flow Analysis

Dari hasil simulasi *load flow* didapatkan bahwa Bus LV1 (0.4kV) Dari hasil simulasi *load flow analysis* dapat dilihat bahwa Bus LV1 (0,4 kV) menerima aliran daya dari bus MV2 (6,6 kV) sebesar 281 kW, kemudian mengalirkan daya ke beban yang terhubung ke bus LV1 (0,4 kV) yaitu Cmtrl sebesar 270 kW.

Gambar 7. Diagram Satu Garis Rancangan Sistem Kelistrikan Sistem Suplai Daya Darurat PLTG Tanjung Uncang

Selain mengalirkan daya ke beban langsung dari bus, LV1 (0,4 kV) juga mengalirkan daya ke bus LV2 (0,23kV) dengan besar aliran daya sebesar 9 kW. Bus LV2 (0,23 kV) mengalirkan daya sebesar 9 kW ke beban yaitu Cntr2, dan menerima aliran daya 9 kW dari bus LV1 (0,4 kV).

Bus MV1 dalam analisis aliran daya ini tidak mengalirkan daya karena diasumsikan *main generator* dalam keadaan *off* atau mati ketika EDG bekerja, hal ini dilandaskan karena sistem suplai daya darurat bekerja ketika keadaan darurat atau ketika *main generator* tidak dapat menyuplai daya pada jaringan.

Bus MV2 terhubung dengan EDG yang menghasilkan daya 754 kW kemudian daya tersebut mengalir ke Bus MV2 (6,6 kV) sebesar 281 kW dan ke beban motor 88CR sebesar 473 kW. Kemudian daya dari bus MV2 (6,6 kV) sebesar 281 kW mengalir ke bus LV1 (0,4 kV) dan mensuplai beban Cntr1 sebesar 270 kW,

dari bus LV1 (0,4 kV) daya mengalir 9 kW menuju ke LV2 (0,23 kV) untuk mensuplai beban di Cntr2 yang terhubung pada bus. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.

Pada simulasi *load flow analysis DC* didapatkan bahwa daya yang mengalir dari Battery1 menuju bus DC (130 V) adalah 14,23 kW, yang selanjutnya mensuplai daya untuk beban Cntr3 yang terhubung pada bus DC (130 V). Untuk lebih jelasnya mengenai *load flow analysis DC* berikut *report* dari simulasi dapat dilihat pada Tabel 4.

Gambar 8 Diagram Satu Garis Simulasi 3phase fault pada Bus MV2

Short Circuit Analysis

Untuk merancang sebuah sistem suplai daya yang andal haruslah memperhitungkan keadaan pada saat sistem suplai daya mendapat gangguan. Untuk rancangan sistem suplai daya darurat pada PLTG Tanjung Uncang 2x35 MW, sistem diasumsikan terjadi hubung singkat (*short circuit*). Diagram satu garis simulasi *short circuit*, seperti tampak pada gambar 8. Hasil analisis *short circuit* tampak pada Tabel 6 hingga Tabel 8.

Tabel 3. Report Load Flow Analysis AC

LOAD FLOW REPORT

Bus		Voltage		Generation		Load		Load Flow				V/MR	
ID	kV	% Mag	Angle	MW	MVar	MW	MVar	ID	MW	MVar	Angle	%PI	%Tap
Bus LV1	0.400	99.98	0.4	0	0	0.139	0.128	Bus LV2	0.400	0.000	13.6	100.0	
								Bus MV2	0.270	-0.128	446.7	90.0	
Bus LV2	0.270	99.960	0.7	0	0	0.000	0.000	Bus LV1	0.000	0.000	75.6	100.0	
* Bus MV2	6.600	100.000	0.0	0.754	0.130	0.475	0.199	Bus LV1	0.281	0.130	27.1	90.7	

* Indicates a voltage regulated bus (voltage controlled) or a generator or a machine connected to it.

* Indicates a bus with a load (percentage of nameplate) > 100 MVA.

Tabel 4. Report Load Flow Analysis DC

LOAD FLOW REPORT

Bus		Op. V		Source		Load (kW)			Load Flow		
ID	Type	V	%	kV	Flow (kVA)	Load 1	Load 2	Load 3	To Bus ID	kW	Angle
	Load	136.0	99.9	0	0.00	0.00	0.00	0.00	DC Bus	0.000	0.000
DC Bus	Load	136.0	99.9	14.228	12.04	2.19	0.00			0.000	0.000
									Busbar 1	-14.276	-110.674
									JD111	1.174	0.127
									JD115	0.008	0.132
									JD112	0.547	4.563
									JD121	0.293	2.262
									JD125	0.048	0.432
									RA11B-1	0.746	6.117
									RA11B-2	11.550	47.434

Tabel 5. Report Simulasi short circuit pada Bus MV2

Short Circuit Summary Report

1.5-4 Cycle - 3-Phase, LG, LL, & LLG Fault Currents

Prefault Voltage = 100 % of the Bus Nominal Voltage

Bus		3-Phase Fault			Line-to-Ground Fault			Line-to-Line Fault			*Line-to-Line-to-Ground		
ID	kV	Real	Imag	Mag	Real	Imag	Mag	Real	Imag	Mag	Real	Imag	Mag
Bus MV2	6.60	0.039	-0.757	0.758	0.090	-1.115	1.118	0.705	0.052	0.707	-0.730	0.784	1.071

All fault currents are symmetrical momentary (1.5-4 Cycle network) values in rms kA

* LLG fault current is the larger of the two faulted line currents

Tabel 6. Report Simulasi Short Circuit pada Bus LV1

Short Circuit Summary Report

1.5-4 Cycle - 3-Phase, LG, LL, & LLG Fault Currents

Prefault Voltage = 100 % of the Bus Nominal Voltage

Bus		3-Phase Fault			Line-to-Ground Fault			Line-to-Line Fault			*Line-to-Line-to-Ground		
ID	kV	Real	Imag	Mag	Real	Imag	Mag	Real	Imag	Mag	Real	Imag	Mag
Bus LV1	0.40	1.631	-9.981	10.114	3.264	-14.149	14.520	9.131	1.718	9.271	-11.904	8.690	14.618

All fault currents are symmetrical momentary (1.5-4 Cycle network) values in rms kA

* LLG fault current is the larger of the two faulted line currents

Tabel 7. Report Simulasi Short Circuit pada Bus LV2

Short-Circuit Summary Report

1.5-4 Cycle - 3-Phase L-G, L-L, & L-L-G Fault Currents

Prefault Voltage = 100 %, of the Bus Nominal Voltage

Bus		3-Phase Fault			Line-to-Ground Fault			Line-to-Line Fault			*Line-to-Line-to-Ground		
ID	kV	Real	Imag	Mag	Real	Imag	Mag	Real	Imag	Mag	Real	Imag	Mag

Bus LV2	0.23	1.133	-1.908	2.218	1.222	-1.969	2.317	1.856	0.995	1.932	-2.297	0.022	2.297
---------	------	-------	--------	-------	-------	--------	-------	-------	-------	-------	--------	-------	-------

All fault currents are symmetrical instantaneous (1.5-4 Cycle network) values in rms kA

* L-L-G fault current is the larger of the two faulted line currents.

Tabel 8. Report Short Circuit DC

Short-Circuit Report

Faulted Bus: DC Bus

Nominal V = 130.00

Contribution		Fault Current	
From Bus ID	To ID	% V From Bus	kA (To Bus)
DC Bus	Total	0.00	5.342
JB331	DC Bus	0.00	0.000
JB332	DC Bus	0.00	0.000
JB332	DC Bus	0.00	0.000
JB321	DC Bus	0.00	0.000
JB325	DC Bus	0.00	0.000
88HR-1	DC Bus	100.00	0.000
88QE-1	DC Bus	100.00	0.000
Battery1	DC Bus	0.00	4.417
	DC Bus	0.00	0.000

Tabel 9. Setelan Arus Pada Beban Cmr3

NO	ID	Arus Nominal	Jenis Beban	Faktor Pengali (%)	Setelan Arus (A)	Setelan Arus Pangkal Cabang (A)
1	88HR-1	6	Motor	400	24	737,375
2	88QE-1	86,5	Motor	400	346	
3	JB331	9,2	Static	125	11,5	
4	JB335	0,5	Static	125	0,625	
5	JB332	4,6	Static	125	5,75	
6	JB321	2,3	Static	125	2,875	
7	JB325	0,5	Static	125	0,625	

Tabel 10. Setelan Arus Pada Beban Cmr2

NO	ID	Jenis Beban	Arus Nominal (A)	Faktor Pengali (%)	Setelan Arus (A)	Arus Setelan Pangkal Cabang (A)
1	G064	Static	1,3	125	1,6	51,1
2	20TW-1	Static	0,2	125	0,25	
3	20TW-3	Static	0,2	125	0,25	
4	23CR	Static	1,4	125	1,75	
5	23HQ-1	Static	0,1	125	0,125	
6	23QA-1	Static	0,1	125	0,125	
7	23TK-1	Static	0,1	125	0,125	
8	23TK-2	Static	0,1	125	0,125	
9	23TK-3	Static	0,1	125	0,125	
10	95SG-1	Static	0,4	125	0,5	
11	95SG-10	Static	0,4	125	0,5	
12	23BT-1	Static	0,1	125	0,125	
13	23BT-2	Static	0,1	125	0,125	
14	96VM-1	Static	0,04	125	0,05	
15	23QV-1A	Static	0,1	125	0,125	
16	JB331	Static	1,5	125	1,875	
17	JB331	Static	16	125	20	
18	AF2	Static	2,5	125	3,125	
19	AF3	Static	0,1	125	0,125	

Tabel 11. Setelan Arus Pada Beban Cmtrl

NO	ID	Jenis Beban	Arus Nominal (A)	Faktor Pengali (%)	Setelan Arus (A)	Setelan Arus Pangkal Cabang (A)
1	88HQ-1	Motor	28,1	400	112,4	1837,975
2	88HQA-1	Motor	51,5	400	206	
3	88TK-1	Motor	51,5	400	206	
4	88TK-2	Motor	51,5	400	206	
5	88TK-3	Static	51,5	400	206	
6	23HA-30	Static	13	125	16,25	
7	23HG-30	Static	14,4	125	18	
8	23HT-30	Motor	14,4	400	57,6	
9	88BT-1	Motor	35,6	400	142,4	
10	88BT-2	Motor	35,6	400	142,4	
11	88EF-1	Motor	15,4	400	61,6	
12	88EF-2	Motor	15,4	400	61,6	
13	88VG-1	Motor	15,4	400	61,6	
14	88VG-2	Static	15,4	125	19,25	
15	23HA-11	Motor	5,6	400	22,4	
16	88VL-1	Motor	4,7	400	18,8	
17	88VL-2	Motor	4,7	400	18,8	
18	88QV-1A	Motor	13,5	400	54	
19	AF1	Static	0,7	125	0,875	

Sistem Proteksi

Dalam perancangan sistem suplai daya darurat, ditentukan juga sistem proteksi yang bertujuan untuk melindungi beban vital dari arus lebih jika terjadi kegagalan pada sistem. Seperti yang tertera pada PUIL 2000 ayat 5.5.4.1 *“Proteksi beban lebih (arus lebih) dimaksudkan untuk melindungi motor, dan perlengkapan kendali motor, terhadap pemanasan berlebihan sebagai akibat beban lebih atau sebagai akibat motor tak dapat diasut. Beban lebih atau arus lebih waktu motor beroperasi, bila bertahan cukup lama, akan mengakibatkan kerusakan atau pemanasan yang berbahaya pada motor tersebut.”* [6].

Pada PUIL 2000 terdapat standar untuk menentukan setelan arus pemutus sirkit jika terjadi hubung pendek atau arus beban lebih. Ayat 5.5.4.1 PUIL 2000 menjelaskan standar penentuan pengaman arus lebih untuk beban beban vital. Berdasarkan aturan tersebut selanjutnya dihitung setelan arus untuk beban pada Cmtr3 sebagai berikut:

Setelan Arus = Arus Nominal x Faktor Pengali

Setelan Arus Pangkal Cabang = Setelan Arus Tertinggi + Total Setelan Arus

Untuk lebih jelasnya mengenai hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 9 sampai Tabel 11.

Gambar 1 Diagram Satu Garis Rancangan Sistem Suplai Daya Darurat dengan Fuse

Dari simulasi *load flow analysis* juga diketahui bahwa arus pengenal pada transformator (T4) sebesar 13,6 A dan transformator (Trafo MV2) sebesar 27,1 A. Dilandaskan oleh ayat 5.8.1.8.1 maka setelan arus pada T4 dan Trafo MV2 dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Setelan Arus } T4 &= \text{Arus Pengenal} \times 250\% \\ &= 13,6 \text{ A} \times 250\% \\ &= 34 \text{ A}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Setelan Arus } T4 &= \text{Arus Pengenal} \times 250\% \\ &= 27,1 \text{ A} \times 250\% \\ &= 67,75 \text{ A}\end{aligned}$$

Untuk lebih jelasnya letak CB pada T4 dan Trafo MV2, diagram satu garis dapat dilihat pada Gambar 8.

Seperti yang sudah dijelaskan pada Ayat 5.5.4.1 PUIL 2000, maka setelan arus pada beban motor (88CR) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Arus } 88\text{CR} &= \text{Arus Pengenal} \times 400\% \\ &= 44,9 \text{ A} \times 400\% \\ &= 179,6 \text{ A}\end{aligned}$$

Kemudian dapat ditentukan setelan arus CB pada EDG sebesar 179,6 A (88CR) + 67,75 A (Trafo MV2) = 247,35 A.

4. KESIMPULAN

Untuk menjaga peralatan-peralatan vital tambahan yang tidak boleh mati sama sekali diperlukan sistem suplai daya darurat yang mampu beroperasi secara cepat, kapasitas memadai dan handal. Berdasarkan hasil analisis hasil perancangan sistem suplai daya darurat di PLTG Tajung Uncang dengan kapasitas pembangkitan 2x35 MW dengan beban vital yang berkapasitas 813,2 KVA dapat disimpulkan sebagai berikut

1. Spesifikasi *Emergency Diesel Generator* (EDG) yang digunakan pada rancangan adalah sebagai berikut:

Name: Mitsubishi MGS 1000HV type 56S-P18

Power Rating: 1225 kVA

Nominal Voltage: 6,6 kV

Frequency : 50 Hz

PF: 0,8

2. Dari simulasi *load flow analysis* bahwa daya yang dari EDG (*Emergency Diesel Generator*) menuju beban-beban vital tambahan melalui bus dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12 Hasil Simulasi *Load Flow*

Nama Bus	Jumlah Daya
MV 2	754 kW
LV1	281 kW
LV2	9 kW
DC	14.23 kW

3. Dari simulasi *short circuit* didapatkan bahwa arus yang mengalir dari jaringan menuju sumber kegagalan pada Bus DC sebesar 5.342 kA, dan hasil simulasi hasil *short circuit* pada bus lainnya dapat dilihat pada Tabel 13

Tabel 13 Hasil Simulasi *Short Circuit*

NO	Nama Bus	3phase fault kA	line to ground fault (L-G) kA	line to line fault (L-L) kA	line to line to ground fault (L-L-G) kA
1	LV1	1.631	3.264	9.111	11.804
2	LV2	1.133	1.222	1.656	-2.297
3	MV2	0.039	0.090	0.052	-0.730

Daftar Pustaka

- [1] IEEE, "446 *Recommended Practice For Emergency And Standby Power System For Industrial And Commercial Application*", USA: IEEE, 1995.
- [2] John J. Grainger and W.D. Stevenson Jr., "Power System Analysis", McGraw Hill International Book Company, 1994
- [3] Kartono, A. Mashar dan B. Puguh, "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Thermal", Bandung: Politeknik Negeri Bandung, 2013.
- [4] Setiawan, "Backup Sistem Kelistrikan PLTGU PT. Indonesia Power UBP Semarang Dengan Startup Diesel Generator 6,3 kV dan 400V".
- [5] Mitsubishi Heavy Industries, Mitsubishi MGS series 1000HV, Tokyo: Engine Sales Department.
- [6] Standar Nasional Indonesia (SNI), Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000), Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2000.