

SIMULASI PENERAPAN KONSEPSI MANAJEMEN PERLEPASAN BEBAN PADA SISTEM TENAGA LISTRIK BERBANTUAN PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC) DAN BERBASIS ELECTRICAL TRANSIENT ANALYZER PROGRAM (ETAP)

Arief Goeritno¹, Tangtang Syamsudin²

¹Jurusan/Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Ibn Khaldun Bogor
Jl. Sholeh Iskandar km.2 Kedung Badak, Tanah Sareal, Kota Bogor 16162

²BP West Java Limited

Email: arief.goeritno@ft.uika-bogor.ac.id

Abstrak. Telah dilakukan simulasi penerapan konsepsi manajemen perlepasan beban pada sistem tenaga listrik berbantuan Programmable Logic Controller (PLC) dan berbasis Electrical Transient Analyzer Program (ETAP), melalui: (a) inventarisasi rencana perlepasan beban dan (b) aliran daya setelah perlepasan beban. Hasil inventarisasi terhadap struktur jaringan sistem kelistrikan dengan kasus di Beyond Petroleum West Java Limited ditunjukkan, bahwa keberadaan sistem kelistrikan merupakan sistem yang kompleks, sehingga peranan manajemen pelepasan beban saat keterbatasan pasokan merupakan pilihan yang tepat, karena mampu dioptimasi daya listrik yang tersedia. Penerapan load shedding dengan bantuan PLC masih menyediakan sejumlah daya untuk pasokan beban-beban. Penerapan load shedding level-3 menyisakan beban sebesar 2.000 kW, load shedding level-2 menyisakan beban sebesar 3.375 kW, dan load shedding level-1 menyisakan beban sebesar 4.250 kW. Perhitungan aliran daya setelah load shedding melalui simulasi berbasis program aplikasi ETAP untuk 8 kasus simulasi load shedding dengan 4 penjelasan, berupa (i) voltage drop terbesar, (ii) aliran daya yang terjadi pada kabel bawah laut, (iii) rugi-rugi (losses) terbesar terjadi pada kabel; dan (iv) pernyataan secara keseluruhan terhadap masing-masing kasus-8, apakah sistem layak atau tidak layak untuk dioperasikan. Untuk Kasus-6, sistem yang dioperasikan sesuai kondisi Load Shedding Level-3 (Kasus-5), sedangkan untuk Kasus-7, sistem tidak layak dioperasikan.

Kata Kunci: manajemen perlepasan beban; sistem tenaga listrik; PLC dan ETAP.

1. Pendahuluan

Tenaga listrik dan sistem kelistrikan yang terdapat di anjungan lepas pantai (*offshore platforms*) merupakan suatu sistem yang sangat vital [1,2,3], karena tenaga listrik tersebut diperlukan untuk pengoperasian peralatan, seperti motor listrik, pemanas (*heater*), peralatan penerangan, komputer, dan untuk keperluan *battery charger* sebagai penyedia sumber listrik arus searah (*dc, direct current*) [1]. Bagian terbesar tenaga listrik tersebut digunakan perolehan produksi minyak dan gas bumi [1], dimana keandalan dan kondisi sistem kelistrikan sangat berpengaruh terhadap kelancaran produksi, baik secara mikro maupun makro [2]. Pusat pembangkitan tenaga listrik berupa *generating sets* untuk segala kebutuhan tenaga listrik yang terdapat di anjungan lepas pantai [3]. Keterbatasan pasokan tenaga listrik saat diperlukan dalam jumlah cukup merupakan suatu kondisi yang tidak dikehendaki [2]. Penanganan terhadap keterbatasan pasokan daya listrik harus dikelola, agar beban listrik dengan kriteria prioritas tetap dapat dioperasikan [2,3].

Suatu kondisi dimana terdapat pengurangan kemampuan pasokan daya berkisar 10-15% dari kapasitas pembangkitan yang ada, hanya berdampak kepada penurunan nilai frekuensi secara perlahan [4]. Governor pembangkit pada kondisi tersebut masih dimungkinkan beroperasi untuk pemasokan daya dari cadangan panas tersisa (*spining reserve*) berkisar 10-15% [4]. Pengurangan kemampuan pasokan berakibat kepada penurunan frekuensi, tetapi masih dapat diatasi dan dikembalikan ke kondisi normal, karena pengoperasian governor tersebut tanpa pelaksanaan perlepasan beban [5]. Untuk kondisi dimana terdapat pengurangan jumlah pembangkitan yang lebih besar lagi, maka penurunan nilai frekuensi semakin cepat dan hanya berlangsung dalam waktu sangat singkat. Hal itu disebabkan oleh *governor* tidak beroperasi dalam pemasokan daya yang diperoleh dari cadangan panas sisa, sehingga tidak dapat berdampak dalam perbaikan keadaan sistem [6,7]. Untuk penjagaan sistem dari kegagalan yang disebabkan oleh penurunan nilai frekuensi, maka sebagian beban harus dilepaskan. Setelah

sebagian beban dilepaskan, maka beban-beban yang ditanggung oleh pembangkit-pembangkit yang masih beroperasi menjadi berkurang [6].

Keberadaan pengurangan tanggungan terhadap beban tersebut, nilai frekuensi dapat dikembalikan ke keadaan normal, segera setelah terjadi keseimbangan antara sisa pembangkitan dan beban. Manajemen untuk penanggulangan keterbatasan pasokan tenaga listrik pada suatu kondisi tertentu, merupakan bentuk manajemen perlepasan beban (*load shedding*) pada sistem tenaga listrik [6]. Keberadaan manajemen perlepasan beban yang dapat dipertanggungjawabkan, dapat dilakukan melalui simulasi terhadap sistem tenaga listrik berbantuan *Programmable Logic Controller* atau *PLC* [8,9] dan berbasis bahasa program aplikasi *Electrical Analyzer Transient Program* atau *ETAP* [10]. Penentuan beban-beban yang dipilih untuk dilepaskan, didasarkan kepada beban-beban yang kurang penting dan yang sangat peka terhadap perubahan frekuensi [11]. Beban-beban dengan kriteria penting dan perlu dilayani secara kontinu diharapkan dapat tetap dilayani, meskipun terdapat sebagian pembangkit tidak beroperasi [6].

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah tersebut, maka tujuan simulasi penerapan konsepsi manajemen perlepasan beban pada sistem tenaga listrik berbantuan *PLC* dan berbasis *ETAP* ini, adalah: (a) memperoleh inventarisasi dan bentuk rancangan dan kondisi perlepasan beban dan (b) memperoleh kondisi aliran daya setelah perlepasan beban. Bahan dan alat yang diperlukan untuk analisis manajemen pelepasan beban, berupa struktur jaringan di lingkungan Beyond Petroleum West Java Limited [1] termasuk di dalamnya karakteristik dan spesifikasi teknis dan penerapan *PLC*. Alat bantu berupa program aplikasi *ETAP* [10] untuk perhitungan aliran daya setelah penetapan perlepasan beban.

Semua data, baik itu pembangkit maupun beban diambil berdasarkan diagram listrik dengan informasi lengkap dari keberadaan instalasi listrik, meliputi jumlah generator, motor listrik, transformator daya, *circuit breaker*, *busbar* (rel daya), dan juga kekuatan *busbar* tersebut. Sistem distribusi yang menghubungkan anjungan tersebut dengan sistem *loop (ring)* dengan kabel bawah laut sebagai saluran penghantar [1]. Data anjungan dan pembangkitan/beban, seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Data anjungan dan pembangkitan/beban

No.	Nama Anjungan (Platform)	Generator Sinkron					Keterangan
		Jum -lah	Daya (kW)	Teg. F-f (volt)	Frek. (hertz)	Power Factor (Cosφ)	
1	NGL	4	2.500	4.160	60	0,8	3 (tiga) dari 4 (empat) generator sebagai pembangkit utama, 1 (satu) generator sebagai cadangan (<i>emergency</i>)
							semua unit memiliki sarana untuk kerja paralel dan pembagian beban (<i>load sharing</i>)
							semua penggerak mula (<i>prime mover</i>) masing-masing generator dalam kondisi baik, sehingga mampu sebagai penopang beban pada <i>rating</i> maksimum generator
2	B2C	1	3.600	4.160	60	0,8	berfungsi sebagai pembangkit utama
							tidak mempunyai fasilitas untuk melakukan pembagian beban (<i>load sharing</i>) dengan pembangkit yang lain
							penggerak mula dari generator dalam kondisi baik, sehingga mampu sebagai penopang beban pada <i>rating</i> maksimum generator
3	BS	1	1.500	480	60	0,8	berfungsi sebagai pembangkit cadangan
							tidak mempunyai fasilitas untuk pembagian beban (<i>load sharing</i>) dengan pembangkit yang lain
							penggerak mula dari generator dalam kondisi baik, sehingga mampu penopang beban pada <i>rating</i> maksimum generator

4	NGL dan B2C	-	-	-	-	-	beban
---	-------------	---	---	---	---	---	-------

Berdasarkan Tabel 1 ditunjukkan, bahwa beban-beban utama berada di anjungan NGL dan B2C. Perbandingan data beban di NGL dan B2C [1], seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Perbandingan data beban di NGL dan B2C

Lokasi beban	Kapasitas (menurut Rancangan (kW))	Kapasitas Aktual (kW)
<i>B2C Normal Operating</i>	3700	2300
<i>Loads B-Complex Crude</i>	900	500
<i>Processing Loads BCS</i>	500	400
<i>Quarters Loads Current</i>	2000	2000
<i>NGL Loads NGL Crude</i>	1000	1000
<i>NGL Crude Pumps Loads NGL</i>	500	500
<i>Quarters Loads</i>		
Total	8600	6700

Metode penelitian dilakukan sesuai tujuan penelitian. Berkaitan dengan inventarisasi dan bentuk rancangan dan kondisi perlepasan beban, adalah inventarisasi jaringan sistem tenaga listrik, penetapan simulasi perlepasan beban, dan perolehan kapasitas beban yang dilepas berbantuan PLC [8,9], sedangkan berkaitan dengan kondisi aliran daya setelah perlepasan beban dilakukan simulasi perhitungan aliran daya setelah perlepasan beban untuk beberapa kasus simulasi berbasis program aplikasi ETAP [10]

Pelaksanaan perlepasan beban dapat dilakukan secara manual (*manual load shedding*) atau otomatis (*automatic load shedding*). Perlepasan beban secara manual hanya dipakai dalam keadaan tidak begitu genting, seperti pada suatu perkembangan beban yang lebih dari daya pembangkitan tenaga listrik atau suatu kondisi yang berbahaya yang disebabkan oleh turun tegangan pada suatu daerah tertentu yang disebabkan oleh gangguan [6]. Untuk kondisi berbahaya, dimana nilai tegangan turun sampai nilai di bawah 80%, maka operator harus berinisiatif untuk perlepasan sebagian beban. Perlepasan secara manual hanya dimungkinkan beberapa tingkat perlepasan saja [6]. Perlepasan beban secara manual memiliki kelemahan, yaitu i) harus mempekerjakan tenaga operator dalam jumlah banyak, ii) perlepasan beban yang terkadang melebihi beban yang seharusnya dilepaskan, dan iii) waktu bertindak operator yang relatif lebih lamban dibandingkan dengan penurunan nilai frekuensi yang sangat cepat. Untuk menghindari hal-hal tersebut, maka penerapan pelepasan beban secara otomatis lebih diutamakan [6].

Dalam perencanaan perlepasan beban secara otomatis untuk suatu sistem tenaga listrik dengan kondisi tertentu, harus diupayakan dengan pemasangan alat-alat yang tepat dan sistem dengan cepat dapat terlindungi, apabila terjadi perubahan nilai frekuensi yang besar dalam waktu yang sangat singkat. Keberadaan alat yang tepat untuk tujuan tersebut, yaitu *underfrequency relay* [6,7]. Relai tersebut digunakan untuk pendeteksian nilai frekuensi sistem sampai pada suatu batas tertentu. Batas tertentu tersebut dapat diatur pada relai frekuensi dengan pengaturan nilai frekuensi antara 45 sampai 49,5 hertz untuk sistem tenaga listrik dengan frekuensi dasar 50 hertz [12]. Relai beroperasi dan perlepasan beban-beban tertentu, apabila nilai frekuensi sistem berada di bawah nilai frekuensi yang telah ditentukan. Pemilihan penyetelan (*setting*) nilai frekuensi yang berbeda-beda bergantung kepada keadaan sistem dan jenis unit pembangkitan yang terdapat pada sistem. Unit pembangkit listrik tenaga uap dengan penurunan nilai frekuensi sebesar 3–6% dari frekuensi sistem, sedangkan pada unit pembangkit listrik tenaga motor Diesel dan air dengan penurunan nilai frekuensi lebih kurang 10%. Beban-beban yang akan dilepas harus ditentukan dahulu dan dilepas secara bertahap pada tiap-tiap tingkat frekuensi yang telah ditentukan [12]. Untuk mendapat pelepasan beban yang sempurna, harus melalui penentuan 3-5 tingkat penyetelan frekuensi dan nilai kapasitas beban yang akan dilepas [6].

2. Pembahasan

2.1. Inventarisasi Dan Bentuk Rancangan Dan Kondisi Perlepasan Beban

Rencana *load shedding* di B2C dan NGL dijelaskan dalam sejumlah uraian, yaitu kondisi normal, *load shedding* level-1, level-2, dan level-3.

1. *Load shedding* Level-1 (konfigurasi baru)

Kasus berupa 1 (satu) dari 3 (tiga) generator mengalami *trip* atau 2 (dua) dari 4 (empat) generator mengalami *trip* dan efek *load shedding* yang terjadi, yaitu:

- a. NGL *Quarters Loads*: 500 kW
 - b. BCS *Quarters Loads*: 400 kW
 - c. NGL *Crude Process Loads*: 1000 kW
 - d. B- *Complex Crude Oil Processing*: 500 kW
- Total Beban Dilepas: 2400 kW

Beban sisa setelah *load shedding* level-1 terjadi, yaitu:

- a. NGL *Gas Processing Plant and Facilities*: 2000 kW
 - b. B2C *Gas Compressor Train "A" and "B"*: 400 kW
 - c. B2C *All Cooling Pump*: 850 kW
 - d. B2C *All Lean Amine Pump*: 400 kW
 - e. B2C *Rich Amine Pump*: 100 kW
 - f. B2C *Other Facilities*: 300 kW
- Total Beban Sisa: 4050 kW.

2. *Load shedding* Level-2 (konfigurasi baru)

Kasus berupa generator pada anjungan B2C 1 (satu) generator *running* dan semua generator pada anjungan NGL mengalami mengalami *trip*, maka efek *load shedding* yang terjadi, yaitu:

- a. Beban pada *Load Shedding* Level-1I: 2400 kW
 - b. B2C *Gas Compressor Train "B"*: 200 kW
 - c. B2C *One Lean Amine Pump*: 200 kW
 - d. B2C *One Rich Amine Pump*: 50 kW
- Total Beban Dilepas: 2850 kW

Beban sisa setelah *load shedding* Level-2 terjadi, yaitu:

- a. NGL *Gas Processing Plant and Facilities*: 2000 kW
 - b. B2C *Gas Compressor Train "A"*: 400 kW
 - c. B2C *Two Cooling Pump*: 850 kW
 - d. B2C *One Lean Amine Pump*: 400 kW
 - e. B2C *One Rich Amine Pump*: 100 kW
 - f. B2C *Other Facilities*: 300 kW
- Total Beban Sisa: 3 600 kW.

3. *Load shedding* Level-3 (konfigurasi baru)

Kasus berupa dii anjungan NGL hanya 1 (satu) generator *running* dan generator pada anjungan B2C mengalami *trip*, maka efek *load shedding* yang terjadi, yaitu:

- a. Beban pada *Load Shedding* Level-1 dan Level-2: 2850 kW
 - b. B2C *Gas Compressor Train "A"*: 400 kW
 - c. B2C *Two Cooling Pump*: 850 kW
 - d. B2C *One Lean Amine Pump*: 400 kW
 - e. B2C *One Rich Amine Pump*: 100 kW
 - f. B2C *Other Facilities*: 300 kW
- Total Beban Dilepas: 4900 kW.

Beban sisa setelah *load shedding* level-2 terjadi, yaitu:

NGL *Gas Processing Plant and Facilities*: 2.000 kW
Total Beban Sisa: 2000 kW.

Konfigurasi tenaga listrik pada *load shedding* Level 1, 2, dan 3 melalui *limit setting* untuk *load shedding* di PLC, adalah:

- a. B2C "TAURUS" Generator, mempunyai $\cos \phi = 90\%$, maka $90\% \times 3600 \text{ kW} \times 110\% = 3.564 \text{ kW}$
- b. NGL "CENTAUR" Generator, mempunyai $\cos \phi = 85\%$, maka $85\% \times 2500 \text{ kW} \times 110\% = 2.337 \text{ kW}$

Untuk 3 (tiga) generator beroperasi pada NGL: $3 \times 2.337 \text{ kW} = 7.011 \text{ kW}$.

Konfigurasi kapasitas tenaga listrik pada NGL dan B2C, seperti ditunjukkan pada Tabel 3

Tabel 3 Konfigurasi kapasitas tenaga listrik pada NGL dan B2C

<i>Load Shedding Level</i>	B2C Generator "RUN"	NGL Generator "RUN"	Ketersediaan Daya NGL dan B2C (kW)
Normal Operation	1	3	10.575
	1	2	8.238
	0	3	7.011
Level-1; Scenario-1	0	2	4.674
Level-1; Scenario-2	1	1	5.901
Level-2	1	0	3.564
Level-3	0	1	2.337

Perbandingan antara *load shedding* dan kapasitas daya (kW), seperti ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Perbandingan antara *load shedding* dan kapasitas daya (kW)

<i>LOAD SHEDDING LEVEL</i>	<i>B2C GEN RUN</i>	<i>NGL GEN RUN</i>	<i>POWER AVAILABLE NGL + B2C</i>	<i>LOAD SHEDDING EFFECT</i>		<i>REMAINING LOADS AFTER LOAD SHEDDING</i>		
				<i>NGL</i>	<i>B2C</i>	<i>NGL</i>	<i>B2C</i>	<i>TOTAL LOAD</i>
<i>Normal Operation</i>	1	3	10.575			3.500	3.150	6.650
	1	2	8.238			3.500	3.150	6.650
	0	3	7.011			3.500	3.150	6.650
<i>Level-1; 1 Scenario-1</i>	0	2	4.674	1.500	900	2.000	2.250	4.250
<i>Level-1; Scenario-2</i>	1	1	5.901	1.500	900	2.000	2.250	4.250
<i>Level-2</i>	1	0	3.564	1.500	1.775	2.000	1.375	3.375
<i>Level-3</i>	0	1	2.337	1.500	3.150	2.000	0	2.000

Berdasarkan Tabel 4 ditunjukkan, bahwa rencana penerapan *load shedding* masih tersedia sejumlah daya untuk pasokan beban-beban. Penerapan *load shedding* level-3 menyisakan daya pembangkitan untuk pasokan ke beban sebesar 2.000 kW, *load shedding* level-2 menyisakan daya pembangkitan untuk pasokan ke beban sebesar 3.375 kW, dan *load shedding* level-1 menyisakan daya pembangkitan untuk pasokan ke beban sebesar 4.250 kW.

2.2. Kondisi aliran daya setelah perlepasan beban

Kondisi aliran daya setelah perlepasan beban merupakan hasil simulasi diperoleh berdasarkan 8 (delapan) kasus, berbasis program aplikasi komputer, yaitu: a) Kasus-1 (kondisi normal), b) Kasus-2 (*load shedding* level 1, skenario 1), c) Kasus-3 (*load shedding* level 1, skenario 2), d) Kasus-4 (*load shedding* level 2), e) Kasus-5 (*load shedding* level 3), f) Kasus-6 (semua generator beroperasi secara terpisah), g) Kasus-7, dan h) Kasus-8.

Kasus-1: Kondisi Normal

Data bus untuk Kasus-1, seperti ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Data bus untuk Kasus-1

Informasi Bus				Generator		Beban Motor		Beban Statis	
No.	Nama	Tipe	kV	MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR
1	B1C-LV-100	Load	0,480						
2	B1C-LV-200	Load	0,480			0,917	0,094	0,013	0,008
3	B2C-HV-1	Gen	4.160	3,366	0,589	1,314	0,551		
4	B2C-LV-100	Load	0,480			0,688	0,400	0,238	0,092
5	BCS-LV-100	Load	0,480					0,391	0,006
6	BCS-LV-200	Load	0,480			0,152	0,063		
7	BS-LV-100	Load	0,480			0,200	0,094	0,014	0,009
8	Bus 1	Load	4.160						
9	NGL-HV-1	Swing	4.160	1,035	0,883	0,774	0,397	0,085	0,053
10	NGL-HV-2	Swing	4.160	2,070	1,766	0,650	0,280		
11	NGL-LV-100	Load	0,480			0,680	0,421	0,185	0,115
12	NGL-LV-200	Load	0,480			0,680	0,421	0,185	0,115

Berdasarkan Tabel 5 ditunjukkan, bahwa:

- Generator yang beroperasi adalah 3 generator pada bus NGL (NGL-G-IA, IB, dan IC) yang beroperasi pada 41% kapasitasnya dengan mode operasi "ISOCRONOUS";
- Bus NGL sebagai bus representatif (*Swing Bus*); dan
- B2C Generator yang berada pada bus B2C-HV-1 beroperasi dengan mode operasi "DROOP" dengan VAR Control dan beban dibatasi sebesar 2.861 kVAR.

Data kabel/saluran untuk Kasus-1, seperti ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6 Data kabel/saluran untuk Kasus-1

Sirkuit/Cabang		Informasi Kabel		Saluran/Kabel (0hm per1000 feet per fase)		
No.	Name	Size	# Fase	L (feet)	R	X
1	Cable1	500	1	5904	0,026706	0,039000
2	Cable2	350	1	3060	0,038151	0,033000
3	Cable3	500	5	492	0,029400	0,034900
4	Cable4	500	4	246	0,029400	0,034900
5	Cable7	500	5	492	0,029400	0,034900
6	Cable8	500	5	492	0,029400	0,034900
7	Cable21/B2C-M-1A	8		656	0,84409	0,04800
8	Cable23/B2C-M-1B	8		656	0,84409	0,04800
9	Cable26/B2C-M-2A	8		656	0,81100	0,05770
10	Cable28/B2C-M-2B	8		656	0,81100	0,05770
11	Cable1 5/NGL-M-2D	2		328	0,19934	0,10400
12	Cable1 7/NGL-M-1D	2		328	0,19934	0,10400
13	Cable9/NGL-M-1A	2		328	0,19934	0,10400
14	Cable1 1/NGL-M-1B	2		328	0,19934	0,10400
15	Cable1 3/NGL-M-2B	2		328	0,19934	0,10400
16	Cable42/B1C-M-1A	3/0		429	0,08050	0,03970
17	Cable44/B1C-M-1B	3/0		429	0,08050	0,03970
18	Cable57/BCS-M-1A	2		656	0,20200	0,04480
19	Cable55/BCS-M-1B	2		656	0,20200	0,04480
20	Cable54/BS-M-1A	1		429	0,16000	0,04360
21	Cable53/BS-M-1B	1		429	0,16000	0,04360
22	Cable58/BCS-LOAD	250	2	429	0,05520	0,03790
23	Cable31/B2C-M-3A	350		328	0,04387	0,08300
24	Cable46/B2C-M-3B	350		328	0,04387	0,08300
25	Cable5/B2C-LS-1	8		328	0,81100	0,05770

Berdasarkan Tabel 6 ditunjukkan, bahwa:

- Data kabel yang digunakan dalam perhitungan seperti panjang kabel (*feet*) dan reaktans kabel (ohm per 1000 feet per fase)
- Cabang yang menghubungkan transformator tidak terdapat pada Tabel 6, karena cabang tersebut merupakan penghubung antara sisi primer dan sekunder transformator.

Data transformator untuk Kasus-1, seperti ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7 Data transformator untuk Kasus-1

Sirkuit/Cabang		Transformator					%Tap Setting	
No.	Nama	MVA	PR-kV	SC-kV	%Z	X/R	Dari	Ke
1	B2C-TR-12	2,500	4,160	0,480	5,750	10,7	-2,50	0,00
2	BCS-TR-1	2,500	4,160	0,480	8,000	10,7	-2,50	0,00
3	NGL-TR-1	2,500	4,160	0,480	5,750	10,7	-2,50	0,00
4	NGL-TR-2	2,500	4,160	0,480	8,430	12,0	-2,50	0,00

Berdasarkan hasil analisis komputer ditunjukkan, bahwa (i) *drop voltage* terbesar terjadi pada bus NGL-LV-100 dan 200 (sebesar -1,44%), kondisi ini masih masuk dalam toleransi sebesar +/- 5%; (ii) aliran daya yang terjadi pada kabel bawah laut sebesar 774 kW (dan -552 kVAR) pada saluran NGL-B2C, sedangkan pada saluran NGL-BCS sebesar 636 kW (dan 271 kVAR). Untuk rugi-rugi (*losses*)

terbesar terjadi pada kabel NGL-B2C sebesar 7,6 kW (dan 11,6 kVAR); dan (iv) secara keseluruhan pada Kasus-1 ini, sistem layak untuk dioperasikan.

Kasus-2: Load Shedding Level-1, Skenario-1

Data bus untuk Kasus-2, seperti ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8 Data bus untuk Kasus-2

Informasi Bus				Generator		Beban Motor		Beban Statis	
No.	Nama	Tipe	kV	MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR
1	BIC-LV-100	Load	0,480						
2	BIC-LV-200	Load	0,480						
3	B2C-HV-1	Load	4,160			1,314	0,551		
4	B2C-LV-100	Load	0,480			0,688	0,400	0,238	0,092
5	BCS-LV-100	Load	0,480						
6	BCS-LV-200	Load	0,480						
7	BS-LV-100	Load	0,480						
8	Bus1	Load	4,160						
9	NGL-HV-1	Swing	4,160	2,004	1,119				
10	NGL-HV-2	Swing	4,160	2,004	1,119				
11	NGL-LV-100	Load	0,480			0,680	0,421	0,185	0,115
12	NGL-LV-200	Load	0,480			0,680	0,421	0,185	0,115

Berdasarkan Tabel 8 ditunjukkan, bahwa:

- Generator yang beroperasi adalah 2 generator pada bus NGL (NGL-G-IB dan IC) yang beroperasi pada 80% kapasitas dengan mode operasi "ISOCHRONOUS";
- Bus NGL sebagai bus representatif (*swing bus*);
- B2C Generator yang berada pada bus B2C-HV-1 dianggap tidak beroperasi, sehingga dalam kasus ini tidak diperhitungkan; dan
- Karena beban-beban pada bus BIC-LV-100, BIC-LV-200, BCS-LV-100, BCS-LV-200, dan BS-LV-100 tidak beroperasi atau dilepas, sehingga dalam kasus ini tidak diperhitungkan.

Data kabel/saluran untuk Kasus-2, seperti ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9 Data kabel/saluran untuk Kasus-2

Sirkuit/Cabang		Informasi Kabel		Saluran/Kabel (ohm per 1000 feet per fase)		
No.	Nama	Size	# Fase	L (feet)	R	X
1	Cable1	500	1	5904	0,026706	0,039000
2	Cable2	350	1	3060	0,038151	0,033000
Sirkuit/Cabang		Informasi Kabel		Saluran/Kabel (ohm per 1000 feet per fase)		
No.	Nama	Size	# Fase	L (feet)	R	X
3	Cable1	500	5	492	0,029400	0,034900
4	Cable1	500	5	492	0,029400	0,034900
5	Cables	500	5	492	0,029400	0,034900
6	Cable21/B2C-M-1A	8	1	656	0,84409	0,04800
7	Cable23/B2C-M-1B	8	1	656	0,84409	0,04800
8	Cable26/B2C-M-2A	8	1	656	0,81100	0,05770
9	Cable28/B2C-M-2B	8	1	656	0,81100	0,05770
10	CableU B2C-M-3A	350	i	328	0,04387	0,08300
11	Cable46/B2C-M-3B	350	1	328	0,04387	0,08300
12	CableS/B2C-LS-1	8	1	328	0,81 100	0,05770

Berdasarkan Tabel 9 ditunjukkan, bahwa:

- Data kabel yang digunakan dalam perhitungan, seperti panjang kabel (*feet*) dan reaktans kabel (ohm per 1000 feet per fase)
- Cabang yang menghubungkan transformator tidak terdapat pada Tabel 9, karena cabang tersebut merupakan penghubung antara sisi primer dan sekunder transformator.

Data transformator untuk Kasus-2, seperti ditunjukkan pada Tabel 10.

Tabel 10 Data transformator pada Kasus-2

Sirkuit/Cabang		Transformator					%Tap Setting	
No.	Nama	MVA	PR-kV	SC-kV	%Z	X/R	Dari	Ke
1	B2C-TR-12	2,500	4,160	0,480	5,750	10,7	-2,50	0,00
2	BCS-TR-1	2,500	4,160	0,480	8,000	10,7	-2,50	0,00
3	NGL-TR-1	2,500	4,160	0,480	5,750	10,7	-2,50	0,00
4	NCL-TR-2	2,500	4,160	0,480	8,430	12,0	-2,50	0,00

Berdasarkan hasil analisis komputer ditunjukkan, bahwa (i) *drop voltage* terbesar terjadi pada bus B2C- HV-1 sebesar (-2,87%), keadaan ini masuk dalam kondisi marginal (alarm), tetapi masih dalam toleransi yaitu +/- 5%; (ii) aliran daya yang terjadi pada kabel bawah laut yaitu 1833 KW (914 KVAR) pada saluran NGL-B2C, sedangkan pada saluran NGL-BCS sebesar 425 kW (dan 209 kVAR); dan (iii) rugi-rugi (*losses*) terbesar terjadi pada kabel NGL-B2C sebesar 38,2 kW (dan 55,8 kVAR); dan (iv) secara keseluruhan pada Kasus-2 ini, sistem layak untuk dioperasikan.

Kasus-3: Load Shedding Level-1, Skenario-2

Data bus untuk Kasus-3, seperti ditunjukkan pada Tabel 11.

Tabel 11 Data bus untuk Kasus-3

Informasi Bus				Generator		Beban Motor		Beban Statis	
No.	Nama	Tipe	kV	MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR
1	B1C-LV-100	Load	0,480						
2	B1C-LV-200	Load	0,480						
3	B2C-HV-1	Swing	4.160	2,042	1,033	1,314	0,551		
4	B2C-LV-100	Load	0,480			0,688	0,400	0,238	0,092
5	BCS-LV-100	Load	0,480						
6	BCS-LV-200	Load	0,480						
7	BS-LV-100	Load	0,480						
8	Bus 1	Load	4.160						
9	NGL-HV-1	Swing	4.160						
10	NGL-HV-2	Swing	4.160	1,932	1,146				
11	NGL-LV-100	Load	0,480			0,680	0,421	0,185	0,115

Berdasarkan Tabel 11 ditunjukkan, bahwa:

- Pada bus NGL hanya 1 buah generator yang *running* (NGL-G-IA) dan dengan mode operasi "ISOCRONOUS";
- Bus NGL-HV-1 dan NGL-HV-2 sebagai bus representatif (*swing bus*);
- B2C Generator yang berada pada bus B2C-HV-1 beroperasi dengan mode operasi "ISOCRONOUS" dengan beban sebesar 58%; dan
- Karena beban-beban pada bus B1C-LV-100, B1C-LV-200, BCS-LV-100, BCS-LV-200, dan BS-LV-100 tidak beroperasi atau dilepas, sehingga dalam kasus ini tidak diperhitungkan.

Data kabel/saluran untuk Kasus-3, seperti tunjukkan pada Tabel 12.

Tabel 12 Data kabel/saluran untuk Kasus-3

Rangkaian/Cabang		Informasi Kabel		Saluran/Kabel (ohm per 1000 feet per fase)		
No.	Nama	Ukuran	# Fase	L (feet)	R	X
1	Cable1	500	1	5904	0,026706	0,039000
2	Cable2	350	1	3060	0,038151	0,033000
3	Cable3	500	5	492	0,029400	0,034900
4	Cable7	500	5	492	0,029400	0,034900
5	Cable8	500	5	492	0,029400	0,034900
6	Cable21/B2C-M-1A	8		656	0,84409	0,04800
7	Cable23/B2C-M-1B	8		656	0,84409	0,04800
8	Cable26/B2C-M-2A	8		656	0,81100	0,05770
9	Cable28/B2C-M-2B	8		656	0,81100	0,05770
10	Cable31/B2C-M-3A	350		328	0,04387	0,08300
11	Cable46/B2C-M-3B	350		328	0,04387	0,08300
12	Cable5/B2C-LS-1	8		328	0,81100	0,05770

Data transformator untuk Kasus-3, seperti ditunjukkan pada Tabel 13.

Tabel 13 Data Transformator untuk Kasus-3

Rangkaian/Cabang		Transformator					% Tap Setting	
No.	Nama	MVA	PR-KV	SC-KV	%Z	X/R	Dari	Ke
1	B2C-TR-12	2,500	4,160	0,480	5,750	10,7	-2,50	0,00
2	BCS-TR-1	2,500	4,160	0,480	8,000	10,7	-2,50	0,00
3	NGL-TR-1	2,500	4,160	0,480	5,750	10,7	-2,50	0,00
4	NGL-TR-2	2,500	4,160	0,480	8,430	12,0	-2,50	0,00

Berdasarkan hasil analisis komputer ditunjukkan, bahwa (i) *voltage drop* terbesar terjadi pada bus NGL-LV-100 dan 200 (sebesar 2,24%), kondisi ini masih masuk dalam toleransi yaitu +/- 5%; (ii) aliran daya yang terjadi pada kabel bawah laut 0 kW (dan 0 kVAR) pada saluran NGL-B2C, sedangkan pada saluran NGL-BCS sebesar 208 kW (dan 32 kVAR); (iii) rugi-rugi (*losses*) terbesar terjadi pada transformator NGL-TR-1 dan 2 sebesar 2,3 kW (dan 24,1 kVAR); dan (iv) pada kondisi ini secara otomatis mode operasi dari generator B2C diubah dari mode "DROOP" menjadi mode "ISOCRONOUS", sehingga secara keseluruhan pada Kasus-3 ini, sistem layak untuk dioperasikan

Kasus-4: Load Shedding Level-2

Data bus untuk Kasus-4, seperti ditunjukkan pada Tabel 14.

Tabel 14 Data bus untuk Kasus-4

Informasi Bus				Generator		Beban Motor		Beban Statis	
No.	Nama	Tipe	kV	MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR
1	BIC-LV-100	Load	0,480						
2	BIC-LV-200	Load	0,480						
3	B2C-HV-1	Swing	4.160	2,910	1,690	0,657	0,275		
4	B2C-LV-100	Load	0,480			0,344	0,200	0,164	0,047
5	BCS-LV-100	Load	0,480						
6	BCS-LV-200	Load	0,480						
7	BS-LV-100	Load	0,480						
8	Bus 1	Load	4.160						
9	NGL-HV-1	Load	4.160						
10	NGL-HV-2	Load	4.160						
11	NGL-LV-100	Load	0,480			0,680	0,421	0,185	0,115
12	NGL-LV-200	Load	0,480			0,680	0,421	0,185	0,115

Berdasarkan Tabel 14 ditunjukkan, bahwa:

- Pada bus NGL tidak terdapat generator yang *running*, sehingga bus menjadi *load bus*;
- Bus B2C-HC-1 sebagai bus representatif (*swing bus*);
- B2C Generator yang berada pada bus B2C-HV-1 beroperasi dengan mode operasi "ISOCRONOUS" dengan beban sebesar 83%; dan
- Karena beban-beban pada bus BIC-LV-100, BIC-LV-200, BCS-LV-100, BCS-LV-200 dan BS-LV-100 tidak beroperasi atau dilepas, sehingga dalam kasus ini tidak diperhitungkan.

Data kabel/saluran untuk Kasus-4, seperti ditunjukkan pada Tabel 15.

Tabel 15 Data kabel/saluran untuk Kasus-4

Rangkaian/Cabang		Informasi Kabel		Saluran/Kabel (ohm/1000 feet per fase)		
No.	Nama	Ukuran	# Fase	L (feet)	R	X
1	Cable1	500	1	5904	0,026706	0,039000
2	Cable2	350	1	3060	0,038151	0,033000
3	Cable3	500	5	492	0,029400	0,034900
4	Cable7	500	5	492	0,029400	0,034900
5	Cable8	500	5	492	0,029400	0,034900
6	Cable21/B2C-M-1A	8	1	656	0,84409	0,04800
8	Cable26/B2C-M-2A	8	1	656	0,81100	0,05770
10	Cable31/B2C-M-3A	350	1	328	0,04387	0,08300
12	Cable5/B2C-LS-1	8	1	328	0,81100	0,05770

Berdasarkan Tabel 15 ditunjukkan, bahwa:

- Data kabel yang digunakan dalam perhitungan, seperti panjang kabel (*feet*) dan reaktans kabel (ohm per 1000 *feet* per fase)
- Cabang yang menghubungkan transformator tidak terdapat pada Tabel 15, dikarenakan cabang tersebut merupakan penghubung antara sisi primer dan sekunder transformator.

Data transformator untuk Kasus-4, seperti ditunjukkan pada Tabel 16.

Tabel 16 Data transformator untuk Kasus-4

Rangkaian (Cabang)		Transformator					%Tap Setting	
No.	Nama	MVA	PR-kV	SC-kV	%Z	X/R	Dari	Ke
1	B2C-TR-12	2,500	4,160	0,480	5,750	10,7	-2,50	0,00
2	BCS-TR-1	2,500	4,160	0,480	8,000	10,7	-2,50	0,00
3	NGL-TR-1	2,500	4,160	0,480	5,750	10,7	-2,50	0,00
4	NGL-TR-2	2,500	4,160	0,480	8,430	12,0	-2,50	0,00

Berdasarkan hasil analisis komputer ditunjukkan, bahwa (i) *voltage drop* terbesar terjadi pada bus NGL-LV-100 dan 200 (sebesar -4.27%), keadaan ini masuk dalam kondisi marginal (alarm), tetapi masih dalam toleransi +/- 5%; (ii) aliran daya yang terjadi pada kabel bawah laut 1683 kW (dan 991 kVAR) pada saluran NGL-B2C, sedangkan pada saluran NGL-BCS sebesar 99 kW (dan 162 kVAR); (iii) rugi-rugi (*losses*) terbesar terjadi pada kabel NGL-B2C sebesar 33,4 kW (dan 48,8 kVAR); dan (iv) pada kondisi ini mode operasi dari generator B2C adalah mode "ISOCRONOUS", sehingga secara keseluruhan pada Kasus-4 ini, sistem layak untuk dioperasikan.

Kasus-5: Load Shedding Level-3

Data bus untuk Kasus-5, seperti ditunjukkan pada Tabel 17.

Tabel 17 Data bus untuk Kasus-5

Informasi Bus				Generator		Beban Motor		Beban Statis	
No.	Nama	Tipe	KV	MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR
1	B1C-LV-100	Load	0,480						
2	B1C-LV-200	Load	0,480						
3	B2C-HV-1	Load	4.160						
4	B2C-LV-100	Load	0,480						
5	BCS-LV-100	Load	0,480						
6	BCS-LV-200	Load	0,480						
7	BS-LV-100	Load	0,480						
8	Bus1	Load	4.160						
9	NGL-HV-1	Swing	4.160	1,724	1,114				
10	NGL-HV-2	Swing	4.160						
11	NGL-LV-100	Load	0,480			0,680	0,421	0,185	0,115
12	NGL-LV-200	Load	0,480			0,680	0,421	0,185	0,115

Berdasarkan Tabel 17 ditunjukkan, bahwa:

- Untuk beban "lumped" yang terdapat di NGL, data kabel tidak diperhitungkan, karena panjang kabel yang terpasang tidak terlalu panjang, sehingga rugi-rugi kabel dapat diabaikan
- Cabang yang menghubungkan transformator tidak terdapat pada Tabel 17, karena cabang tersebut merupakan penghubung antara sisi primer dan sekunder transformator.

Data transformator untuk Kasus-5, seperti ditunjukkan pada Tabel 18.

Tabel 18 Data transformator untuk Kasus-5

Rangkaian/Cabang		Transformator					% Tap Setting	
No.	Nama	MVA	PR-kV	SC-kV	%Z	X/R	Dari	Ke
1	NGL-TR-1	2,500	4,160	0,480	5,750	10,7	-2,50	0,00
2	NGL-TR-2	2,500	4,160	0,480	8,430	12,0	-2,50	0,00

Berdasarkan hasil analisis komputer ditunjukkan, bahwa (i) *voltage drop* terbesar terjadi pada bus NGL-LV-100 dan 200 (sebesar -1,44%), kondisi ini masih masuk dalam toleransi +/- 5%; (ii) tidak

terdapat aliran daya yang terjadi pada kabel bawah laut antara NGL-B2C dan NGL-BCS), karena *CB* pada kedua *feeder* tersebut dalam keadaan terbuka; (iii) rugi-rugi (*losses*) terbesar terjadi pada transformator NGL-TR-1 dan 2 sebesar 2,3 kW (dan 24,1 kVAR); dan (iv) secara keseluruhan pada Kasus-5 ini, sistem layak untuk dioperasikan.

Kasus-6: Semua generator beroperasi secara terpisah

Data *bus* untuk Kasus-6, seperti ditunjukkan pada Tabel 19.

Tabel 19 Data *bus* untuk Kasus-6

Informasi <i>Bus</i>				Generator		Beban Motor		Beban Statis	
No.	Nama	Tipe	kV	MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR
1	B1C-LV-100	Load	0,480						
2	B1C-LV-200	Load	0,480			0,197	0,094	0,013	0,008
3	B2C-HV-1	Swing	4,160	2,248	1,070	1,314	0,551		
4	B2C-LV-100	Load	0,480			0,688	0,400	0,238	0,092
5	BCS-LV-100	Load	0,480					0,391	0,006
6	BCS-LV-200	Load	0,480			0,152	0,063		
7	BS-LV-100	Swing	0,480	0,963	0,280	0,200	0,094	0,014	0,009
8	Bus 1	Load	4,160						
9	NGL-HV-1	Load	4,160						
10	NGL-HV-2.	Swing	4,160	1,724	1,114				
11	NGL-LV-100	Load	0,480			0,680	0,421	0,185	0,115
12	NGL-LV-200	Load	0,480			0,680	0,421	0,185	0,115

Berdasarkan Tabel 19 ditunjukkan, bahwa:

- Pada anjungan NGL hanya 1 generator yang beroperasi dengan mode "ISOCHRONUS" dan beban sebesar 69%. *Bus* NGL-HV-2 dijadikan sebagai *representative bus* (*swing bus*), sedangkan *bus* NGL-HV-1 sebagai *bus* beban (*Load Bus*). Generator NGL-G-1A hanya memasok daya listrik pada anjungan NGL;
- Pada anjungan B2C, generator dioperasikan dengan mode "ISOCHRONUS" dan beban sebesar 62%. *Bus* B2C-HV-1 dijadikan sebagai *representative bus* (*swing bus*). Generator B2C-G-1 hanya memasok daya listrik pada anjungan B2C saja; dan
- Pada anjungan BS, generator dioperasikan dengan mode "ISOCHRONUS" dan beban sebesar 77%. *Bus* BS-LV-100 dijadikan sebagai *representative bus* (*swing bus*). Generator BS-G-1 hanya memasok daya listrik pada anjungan BS, BCS, dan B1C.

Data kabel/saluran untuk Kasus-6, seperti ditunjukkan pada Tabel 20.

Tabel 20 Data kabel/saluran pada Kasus-6

Sirkuit/Cabang		Informasi Kabel		Saluran/Kabel (ohm per 1000 feet per fase)		
No.	Name	Size	# Fase	L (feet)	R	X
1	Cable3	500	5	492	0,029400	0,034900
2	Cable4	500	4	246	0,029400	0,034900
3	Cable8	500	5	492	0,029400	0,034900
4	Cable21/B2C-M-1A	8	1	656	0,84409	0,04800
5	Cable23/B2C-M-1B	8	1	656	0,84409	0,04800
6	Cable26/B2C-M-2A	8	1	656	0,81100	0,05770
7	Cable28/B2C-M-2B	8	1	656	0,81100	0,05770
8	Cable42/B1C-M-1A	3/0	1	429	0,08050	0,03970
9	Cable44/B1C-M-1B	3/0	1	429	0,08050	0,03970
10	Cable57/BCS-M-1A	2	1	656	0,20200	0,04480
11	Cable55/BCS-M-1B	2	1	656	0,20200	0,04480
12	Cable54/BS-M-1A	1	1	429	0,16000	0,04360
13	Cable53/BS-M-1B	1	1	429	0,16000	0,04360
14	Cable58/BCS-LOAD	250	2	429	0,05520	0,03790
15	Cable31/B2C-M-3A	350	1	328	0,04387	0,08300
16	Cable46/B2C-M-3B	350	1	328	0,04387	0,08300
17	CableiVB2C-LS-1	8	1	328	0,81100	0,05770

Berdasarkan Tabel 20 ditunjukkan, bahwa:

- Data kabel yang digunakan dalam perhitungan, seperti panjang kabel (*feet*) dan reaktans kabel (ohm per 1000 feet per fase)
- Cabang yang menghubungkan transformator tidak terdapat pada Tabel 20, karena cabang tersebut merupakan penghubung antara sisi primer dan sekunder transformator.

Data transformator untuk Kasus-6, seperti ditunjukkan pada Tabel 21.

Tabel 21 Data transformator pada Kasus-6

Sirkuit/Cabang		Transformator					%Tap Setting	
No.	Nama	MVA	PR-kV	SC-kV	%Z	X/R	Dari	Ke
1	B2C-TR-12	2,500	4,160	0,480	5,750	10,7	-2,50	0,00
2	NGL-TR-1	2,500	4,160	0,480	5,750	10,7	-2,50	0,00
3	NGL-TR-2	2,500	4,160	0,480	8,430	12,0	-2,50	0,00

Berdasarkan hasil analisis komputer ditunjukkan, bahwa (i) *voltage drop* terjadi pada bus NGL-LV-100 dan 200 (sebesar -1,44%), pada bus B2C-LV-100 (sebesar 1,23%), dan pada bus BCS-LV-100 (sebesar -1.09%), kondisi ini masih masuk dalam toleransi +/- 5%; (ii) tidak terdapat aliran daya yang terjadi pada kabel bawah laut antara NGL-B2C dan NGL-BCS), karena CB pada kedua *feeder* tersebut dalam keadaan terbuka; (iii) rugi-rugi (*losses*) terbesar terjadi pada transformator NGL-TR-1 dan 2 sebesar 2,3 kW (dan 24,1 kVAR), generator pada BS dipakai untuk pasokan daya di anjungan B1C, BS, dan BCS, sedangkan generator B2C untuk pasokan daya listrik hanya ke anjungan B2C sendiri, pada anjungan NGL terjadi kondisi minimum pembangkit, yaitu hanya satu generator yang beroperasi, sehingga *Load shedding* Level-3 (Kasus-5) akan aktif; dan (iv) secara keseluruhan pada Kasus-6 ini, sistem layak untuk dioperasikan.

Kasus-7

Untuk Kasus-7, kondisi beban pada NGL dan B-COM dalam keadaan normal, 3 generator yang beroperasi pada NGL dan generator pada B2C tidak beroperasi. Kabel bawah laut yang menghubungkan NGL dan BCS mengalami gangguan, sehingga psokan listrik ke B-COM dialiri melalui kabel bawah laut NGL-B2C. Data bus untuk Kasus-7, seperti ditunjukkan pada Tabel 22.

Tabel 22 Data bus untuk Kasus-7

Infmrasi BUS				Generator		Beban Motor		Beban Statis	
No.	Nama	Tipe	kV	MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR
1	B1C-LV-100	Load	0,480						
2	B1C-LV-200	Load	0,480			0,917	0,094	0,013	0,008
3	B2C-HV-1	Load	4,160			1,314	0,551		
4	B2C-LV-100	Load	0,480			0,688	0,400	0,238	0,092
5	BCS-LV-100	Load	0,480					0,391	0,006
6	BCS-LV-200	Load	0,480			0,152	0,063		
7	BS-LV-100	Load	0,480			0,200	0,094	0,014	0,009
8	Bus 1	Load	4,160						
9	NGL-HV-1	Swing	4,160	2,167	1,151	0,774	0,397	0,085	0,053
10	NGL-HV-2	Swing	4,160	4,334	2,302	0,650	0,280		
11	NGL-LV-100	Load	0,480			0,680	0,421	0,185	0,115
12	NGL-LV-200	Load	0,480			0,680	0,421	0,185	0,115

Berdasarkan Tabel 22 ditunjukkan, bahwa:

- Generator yang Running adalah 3 generator pada bus NGL (NGL-G-IA, IB, dan IC) yang beroperasi pada 79% kapasitas dengan mode operasi "ISOCHRONOUS"
- Bus NGL sebagai bus representatif (*swing bus*).

Data kabel/saluran untuk Kasus-7, seperti ditunjukkan pada Tabel 23.

Tabel 23 Data kabel/saluran untuk Kasus-7

Sirkuit/Cabang		Informasi Kabel		Saluran/Kabel (ohm per 1000 feet per fase)		
No.	Nama	Size	# Fase	L (<i>feet</i>)	R	X
1	Cable I	500	1	5904	0,026706	0,039000
2	Cablei	500	5	492	0,029400	0,034900

Sirkuit/Cabang		Informasi Kabel		Saluran/Kabel (ohm per 1000 feet per fase)		
No.	Nama	Size	# Fase	L (<i>feet</i>)	R	X
3	<i>Cable4</i>	500	4	246	0,029400	0,034900
4	<i>Cable7</i>	500	5	492	0,029400	0,034900
5	<i>Cable8</i>	500	5	492	0,029400	0,034900
6	<i>Cable21/B2C-M-1A</i>	8		656	0,84409	0,04800
7	<i>Cable23/B2C-M-1B</i>	8	1	656	0,84409	0,04800
8	<i>Cable26/B2C-M-2A</i>	8		656	0,81100	0,05770
9	<i>Cable28/B2C-M-2B</i>	8		656	0,81100	0,05770
10	<i>Cablei 5/NGL-M-2D</i>	2		328	0,19934	0,10400
11	<i>Cable 17/NGL-M- ID</i>	2		328	0,19934	0,10400
12	<i>Cable9/NGL-M-1A</i>	2		328	0,19934	0,10400
13	<i>Cablei 1/NGL-M-1B</i>	2		328	0,19934	0,10400
14	<i>Cablei 3/NGL-M-2B</i>	2		328	0,19934	0,10400
15	<i>Cable42/B1C-M-1A</i>	3/0		429	0,08050	0,03970
16	<i>Cable44/B1C-M-1B</i>	3/0	¹	429	0,08050	0,03970
17	<i>Cable57/BCS-M-1A</i>	2		656	0,20200	0,04480
18	<i>Cable55/BCS-M-1B</i>	2		656	0,20200	0,04480
19	<i>Cable54/BS-M-1A</i>	1		429	0,16000	0,04360
20	<i>Cable53/BS-M-1B</i>	1		429	0,16000	0,04360
21	<i>Cable58/BCS-LOAD</i>	250	2	429	0,05520	0,03790
22	<i>Cable31/B2C-M-3A</i>	350		328	0,04387	0,08300
23	<i>Cable46/B2C-M-3B</i>	350		328	0,04387	0,08300
24	<i>Cable5/B2C-LS-1</i>	8	¹	328	0,81100	0,05770

Berdasarkan Tabel 23 ditunjukkan, bahwa:

- Data kabel yang digunakan dalam perhitungan, seperti panjang kabel (*feet*) dan reaktans kabel (ohm per 1000 feet per fase)
- Cabang yang menghubungkan transformator tidak terdapat pada Tabel 23, karena cabang tersebut merupakan penghubung antara sisi primer dan sekunder dari transformator.

Data transformator untuk Kasus-7, seperti ditunjukkan pada Tabel 24.

Tabel 24 Data Transformator untuk Kasus-7

Sirkuit/Cabang		Transformator					%Tap Setting	
No.	Nama	MVA	PR-kV	SC-kV	%Z	X/R	Dari	Ke
1	<i>B2C-TR-12</i>	2,500	4,160	0,480	5,750	10,7	-2,50	0,00
2	<i>NGL-TR-1</i>	2,500	4,160	0,480	5,750	10,7	-2,50	0,00
3	<i>NGL-TR-2</i>	2,500	4,160	0,480	8,430	12,0	-2,50	0,00

Berdasarkan hasil analisis komputer ditunjukkan, bahwa (i) *voltage drop* terbesar terjadi pada bus BCS-LV-100 (sebesar -9%) dan semua bus yang berada pada Bravo kompleks (B2C-HV-1, B2C-LV-100, BIC-LV-100, BIC-LV-200, BS-LV-100, BCS-LV-200) telah melewati batas yang diizinkan sebesar +/- 5%, dengan kabel antara NGL-BCS dalam studi kasus ini tidak dioperasikan; (ii) aliran daya yang terjadi pada kabel bawah laut 3.267 kW (dan 1.610 kVAR) pada saluran NGL-B2C; (iii) rugi-rugi (*losses*) terbesar terjadi pada kabel NGL-B2C sebesar 120,8 kW (dan 176,5 kVAR); dan (iv) secara keseluruhan pada Kasus-7 ini, sistem tidak layak untuk dioperasikan, karena saluran kabel bawah laut antara NGL-BCS dalam keadaan terbuka.

Kasus-8

Untuk Kasus-8, kondisi beban pada NGL dan B-COM dalam keadaan normal, 2 (dua) generator yang beroperasi pada NGL dan 1 (satu) generator beroperasi pada B2C. Kabel bawah laut yang menghubungkan anjungan NGL dan B2C mengalami gangguan, sehingga pasokan listrik ke B-COM dialiri melalui kabel bawah laut NGL-BCS. Data bus untuk Kasus-8, seperti ditunjukkan pada Tabel 25.

Tabel 25 Data *bus* untuk Kasus-8

Informasi <i>Bus</i>				Generator		Beban Motor		Beban Statis	
No.	Nama	Tipe	kV	MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR
1	B1C-LV-100	<i>Load</i>	0,480						
2	B1C-LV-200	<i>Load</i>	0,480			0,917	0,094	0,013	0,008
3	B2C-HV-1	<i>Gen</i>	4,160	3,366	0,829	1,314	0,551		
4	B2C-LV-100	<i>Load</i>	0,480			0,688	0,400	0,238	0,092
5	BCS-LV-100	<i>Load</i>	0,480					0,391	0,006
6	BCS-LV-200	<i>Load</i>	0,480			0,152	0,063		
7	BS-LV-100	<i>Load</i>	0,480			0,200	0,094	0,014	0,009
8	<i>Bus 1</i>	<i>Load</i>	4,160						
9	NGL-HV-1	<i>Swing</i>	4,160	1,566	1,244	0,774	0,397	0,085	0,053
10	NGL-HV-2	<i>Swing</i>	4,160	1,566	1,244	0,650	0,280		
11	NGL-LV-100	<i>Load</i>	0,480			0,680	0,421	0,185	0,115
12	NGL-LV-200	<i>Load</i>	0,480			0,680	0,421	0,185	0,115

Berdasarkan Tabel 25 ditunjukkan, bahwa:

- Dua (2) generator pada *bus* NGL (NGL-G-1B dan ID) beroperasi pada 57% dari kapasitas dengan mode operasi "ISOCRONOUS";
- Bus* NGL sebagai *bus* representatif (*swing bus*); dan
- B2C Generator yang berada di *bus* B2C-HV-1 beroperasi dengan mode operasi "DROOP" dengan *Voltage Automatic Regulator (VAR) Control* dan beban dibatasi sebesar 2.861 MVAR.

Data kabel/saluran untuk Kasus-8, seperti ditunjukkan pada Tabel 26.

Tabel 26 Data kabel/saluran untuk Kasus-8

Sirkuit/Cabang		Informasi Kabel		Saluran/Kabel (ohm per 1000 feet per fase)		
No.	Nama	Size	# Fase	L (feet)	R	X
1	<i>Cable2</i>	350	1	3060	0,038151	0,033000
2	<i>Cable3</i>	500	5	492	0,029400	0,034900
3	<i>Cable4</i>	500	4	246	0,029400	0,034900
4	<i>Cable?</i>	500	5	492	0,029400	0,034900
5	<i>Cable8</i>	500	5	492	0,029400	0,034900
6	<i>Cable21/B2C-M-1A</i>	8		656	0,84409	0,04800
7	<i>Cable23/B2C-M-1B</i>	8		656	0,84409	0,04800
8	<i>Cable26/B2C-M-2A</i>	8		656	0,81100	0,05770
9	<i>Cable28/B2C-M-2B</i>	8		656	0,81100	0,05770
10	<i>Cable 15/NGL-M-2D</i>	2		328	0,19934	0,10400
11	<i>Cable 17/NGL-M-ID</i>	2		328	0,19934	0,10400
12	<i>Cable9/NGL-M-1A</i>	2		328	0,19934	0,10400
13	<i>Cable 11/NGL-M-1B</i>	2		328	0,19934	0,10400
14	<i>Cable 13/NGL-M-2B</i>	2		328	0,19934	0,10400
15	<i>Cable42/B1C-M-1A</i>	3/0		429	0,08050	0,03970
16	<i>Cable44/B1C-M-1B</i>	3/0		429	0,08050	0,03970
17	<i>Cable57/BCS-M-1A</i>	2		656	0,20200	0,04480
18	<i>Cable55/BCS-M-1B</i>	2		656	0,20200	0,04480
19	<i>Cable54/BS-M-1A</i>	1		429	0,16000	0,04360
20	<i>Cable53/BS-M-1B</i>	1		429	0,16000	0,04360
21	<i>Cable58/BCS-LOAD</i>	250	2	429	0,05520	0,03790
22	<i>Cable31/B2C-M-3A</i>	350		328	0,04387	0,08300
23	<i>Cable46/B2C-M-3B</i>	350		328	0,04387	0,08300

Berdasarkan Tabel 26 ditunjukkan, bahwa:

- Data kabel yang digunakan dalam perhitungan seperti panjang kabel (*feet*) dan reaktans kabel (ohm per 1000 *feet* per fase).
- Cabang yang menghubungkan transformator tidak terdapat pada Tabel 26, karena cabang tersebut merupakan penghubung antara sisi primer dan sekunder transformator.

Data transformator untuk Kasus-8, seperti ditunjukkan pada Tabel 27.

Tabel 27 Data transformator untuk Kasus-8

Rangkaian/Cabang		Transformator					% Tap Setting	
No.	Nama	MVA	PR-kV	SC-kV	%Z	X/R	Dari	Ke
1	B2C-TR-12	2,500	4,160	0,480	5,750	10,7	-2,50	0,00
2	BCS-TR-1	2,500	4,160	0,480	8,000	10,7	-2,50	0,00
3	NGL-TR-1	2,500	4,160	0,480	5,750	10,7	-2,50	0,00
4	NGL-TR-2	2,500	4,160	0,480	8,430	12,0	-2,50	0,00

Berdasarkan hasil analisis komputer ditunjukkan, bahwa (i) *voltage drop* terbesar terjadi pada bus B2C-LV-100 sebesar 1,61%, pada kondisi tersebut semua bus yang beroperasi tidak ditemukan keberadaan "over voltage" maupun "under voltage" dan masih masuk dalam toleransi +/- 5%, kabel antara NGL-B2C dalam studi kasus ini tidak dioperasikan; (ii) aliran daya yang terjadi pada kabel bawah laut 0 kW (dan 0 kVAR) pada saluran NGL-B2C, sedangkan pada saluran NGL-BCS sebesar 101 kW (dan 645 kVAR); (iii) rugi-rugi (*losses*) terbesar terjadi pada kabel B2C-LV-100 ke B1C-LV-100 sebesar 16,1 kW (dan 19,2 kVAR); dan (iv) secara keseluruhan pada Kasus-8 ini, sistem layak untuk dioperasikan.

3. Simpulan

Berdasarkan pembahasan, maka ditarik simpulan sesuai tujuan penelitian.

- Struktur jaringan sistem kelistrikan dengan kasus di Beyond Petroleum West Java Limited ditunjukkan, bahwa sistem kelistrikan yang ada merupakan sistem yang kompleks, sehingga peranan manajemen pelepasan beban saat keterbatasan pasokan merupakan pilihan yang tepat, karena mampu mengoptimasi daya listrik yang tersedia. Penerapan *load shedding* masih tersedia sejumlah daya untuk pasokan beban-beban. Penerapan *load shedding* level-3 menyisakan daya pembangkitan untuk pasokan ke beban sebesar 2.000 kW, *load shedding* level-2 menyisakan daya pembangkitan untuk pasokan ke beban sebesar 3.375 kW, dan *load shedding* level-1 menyisakan daya pembangkitan untuk pasokan ke beban sebesar 4.250 kW.
- Hasil perhitungan aliran daya setelah *load shedding* melalui simulasi berbasis program aplikasi ETAP untuk 8 kasus simulasi *load shedding* dengan 4 penjelasan, berupa (i) *voltage drop* terbesar, (ii) aliran daya yang terjadi pada kabel bawah laut, (iii) rugi-rugi (*losses*) terbesar terjadi pada kabel; dan (iv) pernyataan secara keseluruhan terhadap masing-masing kasus, apakah sistem layak atau tidak layak untuk dioperasikan. Untuk Kasus-6, sistem yang dioperasikan sesuai kondisi Load Shedding Level-3 (Kasus-5), sedangkan untuk Kasus-7, sistem tidak layak dioperasikan.

Daftar Pustaka

- [1]. Anonymous, 1990, *One Line Diagram SCADA System: Application in BP West Java, Project Gas Phase I Year 1990*, BP Indonesia, Jakarta.
- [2]. American National Standards Institute (ANSI), 1993, IEEE Std 141-1993 *IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants*.
- [3]. Sheldrake, Alan L., 2003, *Handbook of Electrical Engineering: For Practitioners in the Oil, Gas and Petrochemical Industry*, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, pp. 1-18.
- [4]. Wood, Allen J., Bruce F. Wollengerg, 1996, *Power Generation, Operation, and Control*, Second Edition, John Wiley & Sons, New York, pp. 131-138.
- [5]. Brown, Richard E., 2007, "Power System Reliability" in *Electric Power Engineering Handbook: Power System* (Edited by Leonard L. Grigsby), Second Edition, CRC Press (Taylor & Francis Group, LLC), Boca Raton, pp. 19.2-19.3.
- [6]. Grant, Mark, 2012, *Foxboro SCADA Systems Load Shedding and Electrical Monitoring Control Systems Design in Industrial Process Plants*, Invensys Systems, Inc., London, pp. 2-5.
- [7]. Lee, Yun-Hwan, et al, 2014, "Implementation of Under Voltage Load Shedding for Fault Induced Delayed Voltage Recovery Phenomenon Alleviation," in *Journal of Electrical Engineering and Technology*, 9(2), 2014, The Korean Institute of Electrical Engineers, pp. 406-414.

- [8]. Koyo's Direct Logic, *PLC Handbook: Practical Guide to Programmable Logic Controllers*, Automation Direct, pp. 3-10.
- [9]. Anonymous, *PLC Training Manual: G-Series PLC Training*, IMO Precision Control, London, pp. 16-23.
- [10]. ETAP PowerStation 4.0, 2001, *Load Flow Analysis*, Operation Technology, Inc., pp. 15.1-15.16
- [11]. Curtis, Thomas E., 2009 (published), "A Power-System Governor Sensitive to Frequency and Load," in [*Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*](#) (Volume: 60, [Issue: 3](#), March 1941), IEEE, pp. 89-92.
- [12]. Reliability Panel, 2001, *Frequency operating standards Determination*, National Electricity Code Administrator Limited (NECA), pp. 17.