



Electrical Power System Assessment at PT Petro Jordan Abadi

Rahmat Febrianto Wijanarko¹, Ananda Rizky Utami²

^{1,2} Fakultas Ketengalistrikan dan Energi Terbarukan, Institut Teknologi Perusahaan Listrik Negara/ITPLN, Jakarta, Indonesia

Article Info

Article history:

Received April 10, 2026
Revised April 12, 2026
Accepted April 15, 2026

Kata Kunci:

Matematika,
Persamaan Diferensial,
Model Matematika Ekonomi,
Teori Ekonomi Dinamis,
Dinamika Makroekonomi

Keywords:

Mathematics,
Differential Equations,
Mathematical of Economics,
Dynamic Economic Theory,
Macroeconomic Dynamics

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menyajikan tinjauan literatur yang mendalam mengenai peranan persamaan diferensial sebagai instrumen utama dalam pemodelan ekonomi dinamis. Melalui pendekatan studi pustaka sistematis, dokumen ini mengeksplorasi transisi dari analisis statis ke dinamis dalam berbagai domain, mulai dari mekanisme mikro penyesuaian harga hingga makroekonomi pertumbuhan jangka panjang dan optimasi antarwaktu. Fokus utama diberikan pada derivasi matematis dari model-model fundamental seperti penyesuaian harga Walrasian, model pertumbuhan Solow-Swan, sistem IS-LM dinamis, dan kontrol optimal Ramsey. Hasil studi menunjukkan bahwa penggunaan persamaan diferensial memungkinkan para ekonom untuk mengidentifikasi kondisi stabilitas ekuilibrium, memprediksi lintasan transisi variabel ekonomi, dan menentukan kebijakan optimal secara temporal. Studi ini menyimpulkan bahwa penguasaan teknik integrasi dan analisis nilai eigen merupakan prasyarat krusial dalam memahami kompleksitas sistem ekonomi modern yang terus berubah.

ABSTRACT

This study aims to present an in-depth literature review of the role of differential equations as a key tool in dynamic economic modeling. Through a systematic literature review approach, the paper explores the transition from statistical to dynamic analysis in various domains, ranging from micro-price adjustment mechanisms to long-run macroeconomic growth and intertemporal optimization. The main focus is on the mathematical derivation of fundamental models such as Walrasian price adjustment, the Solow-Swan growth model, the dynamic IS-LM system, and Ramsey optimal control. The results show that the use of differential equations allows economists to identify equilibrium stability conditions, predict transition trajectories of economic variables, and determine temporally optimal policies. The study concludes that mastery of integration techniques and eigenvalue analysis is a crucial prerequisite for understanding the complexity of modern, ever-changing economic systems.

This is an open access article under the [CC BY](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) license.



Corresponding Author:

Rahmat Febrianto Wijanarko
Fakultas Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan, Institut Teknologi Perusahaan Listrik Negara/ITPLN,
Jakarta, Indonesia
Email: rfebrianto@itpln.ac.id

1. PENDAHULUAN

PT Petro Jordan Abadi adalah perusahaan yang bergerak di bidang produksi asam fosfat, dengan fokus pada penyediaan produk berkualitas dan proses produksi yang efisien [1], [2]. Berkantor pusat di Gresik, Jawa Timur, perusahaan ini berkomitmen untuk mengembangkan sumber daya manusia yang profesional dan terpercaya, serta memperhatikan keselamatan dan lingkungan dalam setiap aktivitasnya [3]. Visi, misi, dan nilai-nilai perusahaan menjadi pedoman dalam menjalankan operasional dan mencapai tujuan jangka panjang, sambil tetap berpegang pada etika bisnis [4].

Dalam menjalankan kegiatan produksi, PT Petro Jordan Abadi memiliki beberapa fasilitas produksi seperti pabrik asam sulfat, pabrik asam fosfat, pabrik purifikasi gypsum, asam fluosilika, dan power plant yang mensyaratkan sistem kelistrikan yang andal dan efisien [5]. Keberhasilan perusahaan dalam memproduksi dan mendistribusikan produk bergantung pada ketersediaan dan kestabilan pasokan energi listrik [6]. Dengan kompleksitas operasional yang melibatkan berbagai proses, PT Petro Jordan Abadi sangat membutuhkan *power system analysis* melalui kajian yang berjudul “Electrical Power System Assessment at PT Petro Jordan Abadi” [7]. Berikut adalah beberapa alasan mengapa perusahaan memerlukan analisis tersebut:

1. Analisis sistem kelistrikan membantu memastikan bahwa infrastruktur kelistrikan mampu mendukung kebutuhan energi pabrik secara terus-menerus. Hal ini penting untuk menghindari pemadaman yang dapat mengganggu proses produksi [8].
2. Analisis tersebut dapat membantu dalam merencanakan dan merancang proteksi terhadap gangguan listrik, baik dari dalam maupun luar sistem, yang dapat berpotensi merusak peralatan atau mengganggu operasional [9].
3. Dengan analisis sistem kelistrikan yang baik, PT Petro Jordan Abadi dapat merencanakan kebutuhan energi di masa depan, seiring dengan semakin berkembangnya operasional dan ekspansi yang mungkin terjadi [10].

Melalui kajian ini dilihat dari *power flow* dan stabilitas perspektif, PT Petro Jordan Abadi diharapkan dapat memaksimalkan keandalan operasional kelistrikan, mendukung keberlangsungan produksi, serta mewujudkan visi dan misi perusahaan dalam menciptakan produk yang berkualitas dengan proses yang efisien dan berkelanjutan.

2. METODE

Power flow analysis atau analisis aliran daya merupakan suatu metode perhitungan numerikal yang digunakan untuk mengetahui aliran daya dari suatu sistem kelistrikan dalam keadaan steady state pada kondisi jaringan, pembebanan, dan pembangkitan yang ditentukan sebelumnya. Dengan demikian, analisis ini sangat penting untuk perencanaan awal sistem kelistrikan, merencanakan ekspansi sistem kelistrikan yang sudah ada, serta untuk menambah fasilitas yang sudah ada, seperti generator dan pembebanan baru. Dalam plant eksisting, power flow analysis juga dapat digunakan untuk mengevaluasi efisiensi profil aliran daya pada keseluruhan sistem. Tujuan utama analisis aliran daya adalah sebagai berikut:

- a. Menentukan profil tegangan dari masing-masing substation
- b. Mengetahui aliran daya aktif (P) dan reaktif (Q) pada setiap substation
- c. Mengetahui losses serta voltage drop pada suatu sistem kelistrikan

- d. Memeriksa dan merencanakan kemampuan peralatan yang ada dalam sistem mengenai kemampuan penyaluran daya.
- e. Memperoleh kondisi awal bagi studi lanjutan seperti short circuit study
- f. Menentukan kemungkinan optimasi penyaluran daya sehingga dapat meminimalisir losses untuk meningkatkan efisiensi peralatan

Pada penelitian ini, perhitungan aliran daya dilakukan menggunakan **Metode Newton-Raphson**, yang dikenal sebagai salah satu metode paling akurat dan efisien dalam studi sistem tenaga listrik. Metode ini bekerja dengan pendekatan iteratif untuk menyelesaikan persamaan nonlinier yang merepresentasikan keseimbangan daya pada setiap bus dalam sistem.

Persamaan dasar aliran daya dinyatakan sebagai berikut:

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i)$$
$$Q_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i)$$

di mana:

1. P_i = daya aktif pada bus ke-i
2. Q_i = daya reaktif pada bus ke-i
3. V_i, V_j = magnitudo tegangan pada bus ke-i dan ke-j
4. Y_{ij} = admitansi antara bus ke-i dan ke-j
5. θ_{ij} = sudut admitansi
6. δ_i, δ_j = sudut tegangan
7. n = jumlah bus dalam sistem

Metode Newton-Raphson memanfaatkan matriks Jacobian untuk mempercepat konvergensi, yang dinyatakan sebagai:

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

Keunggulan metode Newton-Raphson antara lain:

1. Memiliki tingkat akurasi yang tinggi.
2. Konvergensi yang cepat meskipun pada sistem berskala besar.
3. Stabil dan efisien untuk sistem tenaga listrik yang kompleks.
4. Cocok digunakan dalam perangkat lunak analisis sistem tenaga seperti ETAP, DIGSILENT PowerFactory, dan MATLAB.

Dalam studi ini, metode Newton-Raphson digunakan untuk memperoleh profil tegangan, aliran daya, rugi-rugi sistem, serta tingkat pembebanan peralatan pada kondisi eksisting dan kondisi usulan. Studi transient stability (kestabilan transient) dilakukan sebagai bentuk evaluasi dari defense scheme existing milik Petro Jordan Abadi Analisis kestabilan transient dilakukan untuk mengamati respon sistem kelistrikan sebagai akibat dari kejadian-kejadian yang mungkin terjadi yang berdifat dinamis. Analisis dilakukan menggunakan dengan parameter-parameter model mesin generator dan sistem sesuai dengan data yang telah diterima dari PJA. Jika kemudian data-data parameter yang digunakan untuk studi ini tidak tersedia, maka data yang digunakan adalah data tipikal

Skema load shedding dirancang dengan mengacu pada ANSI/IEEE Std. C37.106: Guide for Abnormal Frequency Protection for Power Generating Plant dan informasi spesifik terkait ketahanan yang mengacu pada STG Datasheet Standard yang berlaku, ANSI/IEEE Std. C37.106, menggunakan frekuensi system berupa 60 Hz. Dengan demikian, maka dibutuhkan penyesuaian agar menjadi frekuensi system 50 Hz, sesuai yang digunakan pada PJA Operasi frekuensi yang diizinkan berdasarkan Standard ANSI/IEEE std. C37.106 dengan basis 50 Hz dapat ditinjau pada **Error! Reference source not found.**

Tabel 1. Standard operasi frekuensi STG berdasarkan ANSI/IEEE Std. C37.106

Remarks	Frequency Range (Hz)	Time (Up to)	Keterangan
Prohibited operation	>51,5	-	Over frequency
Restricted operation	>50,5 – 51,5	10 min	
Continuous operation	49.5 – 50,5	Continuous	Normal
Prohibited operation	<47.5	-	Under frequency

Berdasarkan tabel 1 terdapat tiga daerah operasi untuk steam turbine generator, yaitu:

1. *Restricted operation*, merupakan daerah frekuensi yang masih diizinkan namun hanya bersifat sementara (tergantung besar frekuensi dan waktu). Semakin besar penurunan frekuensinya, maka semakin singkat waktu yang diizinkan frekuensi pada kondisi tersebut.
2. *Prohibited operation* merupakan daerah frekuensi terlarang, sehingga frekuensi tidak diizinkan mencapai daerah tersebut.
3. *Continuous operation* merupakan daerah frekuensi normal.

Dengan mengetahui standard yang berlaku dan batasan teknis dari manufaktur, maka dapat dilakukan visualisasi batasan operasi STG. Pada batasan operasi, perspektif yang digunakan mengacu pada kondisi elektrik. Dengan kata lain, dilakukan konversi satuan dari putaran shaft (rpm) menjadi satuan frekuensi (Hz).

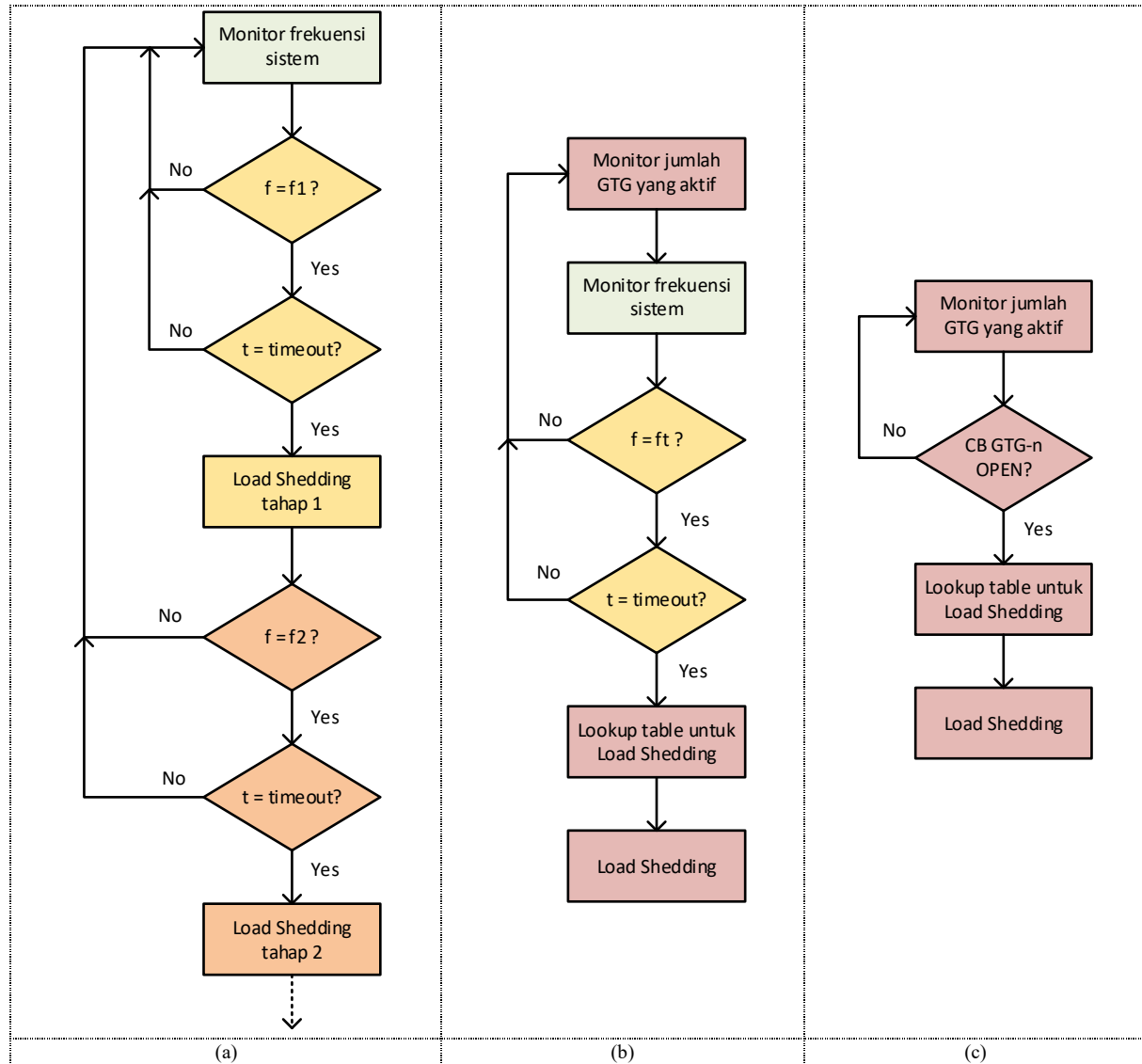
2.1 Metode Pelepasan Beban (Load Shedding)

Skema load shedding (LS) dilakukan untuk menghindari ketidakstabilan sistem akibat penurunan tegangan atau frekuensi. Umumnya, LS dipicu (triggered) oleh relay frekuensi (ANSI 81). Akan tetapi dengan adanya kemajuan teknologi, terdapat beberapa fungsi lain yang dapat memicu terjadinya LS. Beberapa fungsi tersebut adalah:

1. LS dengan trigger frekuensi, melalui underfrequency relay (UFR), dan output pelepasan beban secara bertahap (analog input).
2. LS dengan trigger frekuensi dan output lookup table (analog input).
3. LS dengan trigger status circuit breaker (CB) STG dan output lookup table (digital input).

Adapun masing-masing diagram alir pada fungsi tersebut diuraikan secara rinci pada gambar 1. Melalui tabel 1 dapat diketahui bahwa frekuensi menjadi fungsi utama dalam menentukan besaran LS. Terdapat beberapa trigger frekuensi dengan tahapan sejumlah n , juga dapat disebut sebagai f_n . Dengan demikian, maka $f_1 < f_2 < \dots < f_n$, atau dengan kata lain frekuensi LS tahap 1 (f_1) lebih rendah dari frekuensi LS tahap 2 (f_2), dan begitu seterusnya hingga tahap akhir. Tiap tahapan frekuensi diikuti dengan beban yang harus dilepas. Gambar 1B menunjukkan skema LS dengan trigger frekuensi. Akan tetapi, berbeda dengan LS pada gambar 1 A, output pada LS gambar 1B ditentukan berdasarkan besaran daya yang telah dihitung sebelumnya dan dimasukkan kedalam sebuah tabel. Tabel tersebut menghubungkan antara besaran daya yang harus dilepas dan status STG pada saat tersebut.

gambar 1 C merupakan skema LS dengan trigger status CB STG yang aktif. Secara sederhana, perbedahan dasar skema LS ini terletak pada trigger tindakan. Pemilihan trigger berupa status CB STG diharapkan mampu memotong durasi LS, sehingga menghindarkan sistem dari penurunan frekuensi secara besar. Besaran LS ditentukan berdasarkan lookup table yang telah dipersiapkan sebelumnya.



Gambar 1. Flowchart sederhana atas beberapa skema load shedding; (a) trigger frekuensi dengan pelepasan beban secara bertahap; (b) trigger frekuensi dengan lookup table; (c) trigger status CB dengan lookup table;

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

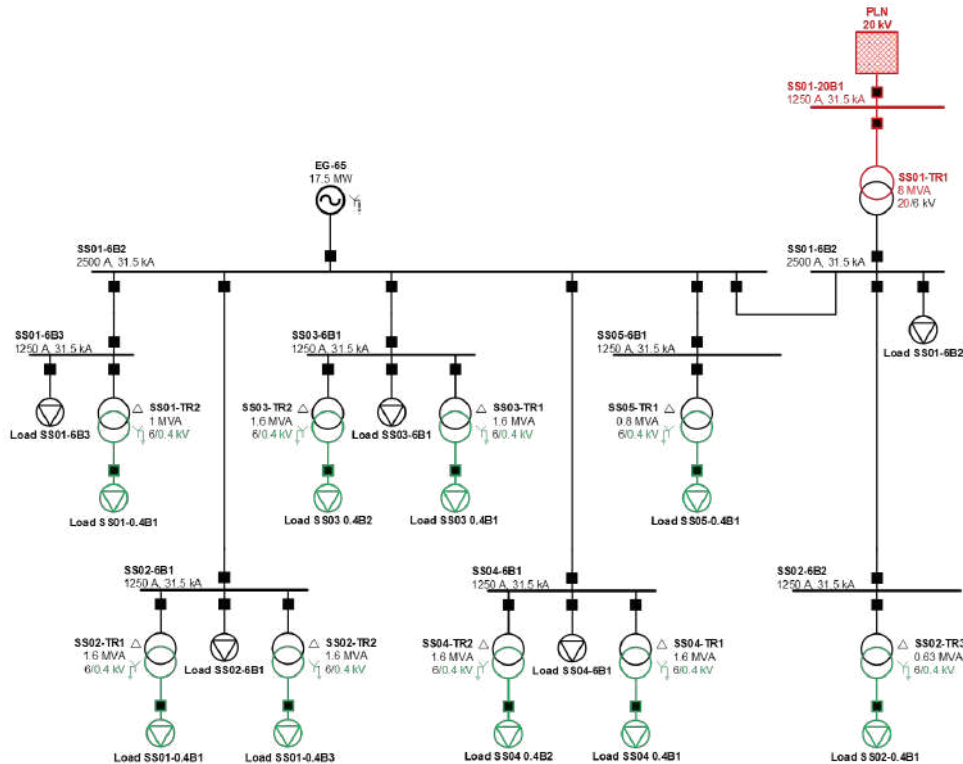
3.1 POWER FLOW ANALYSIS STUDY CASE

Diketahui bahwa terdapat beberapa perubahan feeder yang dilakukan oleh Petro Jordan Abadi. Perubahan yang dilakukan tersebut nantinya akan disimulasikan dan dibandingkan dengan kondisi eksisting. Dengan demikian terdapat 2 skenario yang akan disimulasikan, yaitu

1. Kondisi sebelum perubahan (Existing Condition)
2. Kondisi setelah perubahan (Proposed Condition)

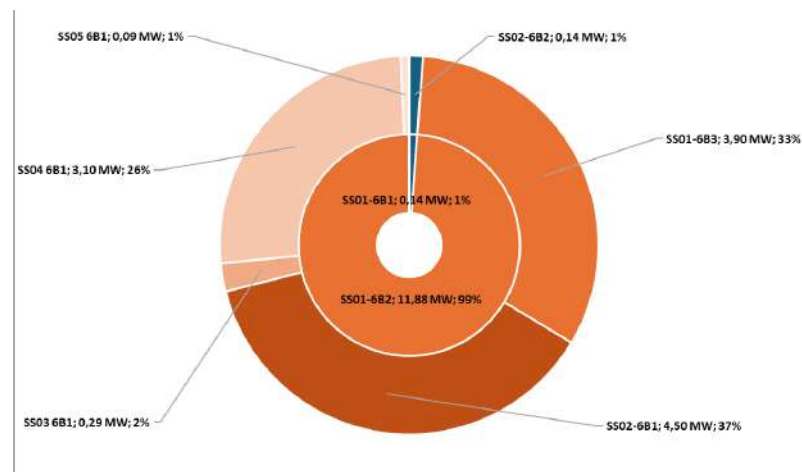
Parameter yang akan diamati pada power flow analysis adalah pembebanan peralatan, magnitude tegangan, losses, dan drop voltage pada setiap substation.

3.2 Profil Aliran Daya Sistem (Existing Condition)



Gambar 2. SLD Existing Condition

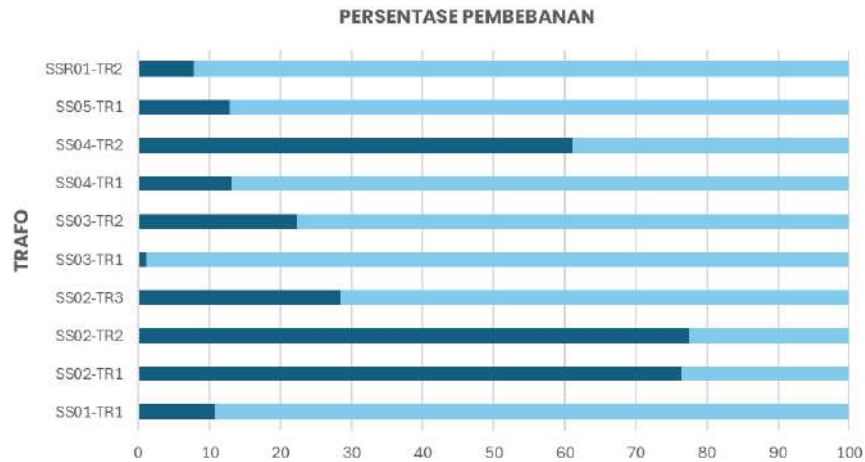
Pada kondisi eksisting, PLN dan Generator memenuhi kebutuhan operasional produksi pada masing-masing substation dengan total pembebanan sistem kelistrikan sebesar 12,24 MW yang dibagi ke masing-masing substation sesuai dengan kebutuhan operasional plant. Profil pembebanan pada masing-masing substation dapat dilihat melalui gambar 2.



Gambar 3. Profil Pembebanan Setiap Substation kondisi normal

Melalui gambar 3, dapat diketahui bahwa pembebanan terbesar terdapat pada area SS01-6B2. Pembebanan tersebut tentunya bergantung sesuai dengan keadaan operasional plant yang berubah-ubah menyesuaikan dengan kebutuhan produksi. Tentunya pembebanan dari substation SS01-6B1 cenderung sangat rendah dibandingkan dengan SS01-6B2, sehingga rencana pemindahan beban menjadi salah satu opsi yang wajar untuk pendistribusian beban secara merata. Namun perlu diperhatikan bahwa transformator tidak disarankan untuk dibebani secara berlebihan untuk menghindari preliminary aging

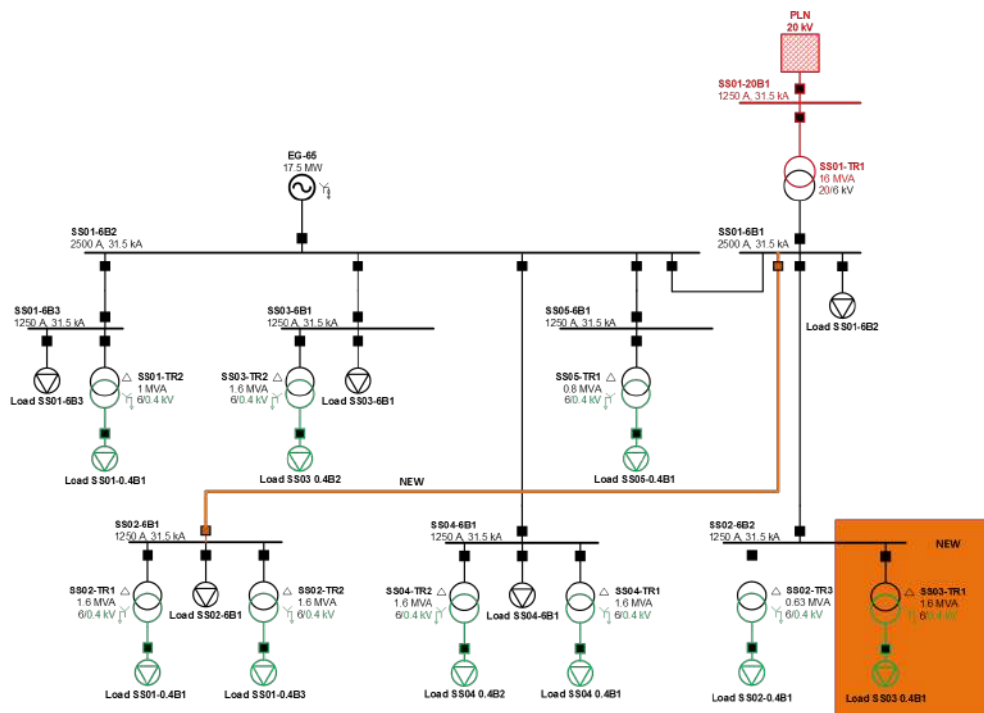
dari transformer. Dalam kasus ini pembebanan transformer dirangkum dan divisualisasikan melalui gambar 3.



Gambar 4. Profil Pembebanan Transformer

Melalui power flow analysis yang dilakukan, diketahui bahwa pembebanan transformator masih berada di bawah 80% dari kapasitas nominalnya sehingga dapat dikatakan aman karena transformator dirancang untuk beroperasi pada level pembebanan yang memungkinkan pendinginan yang efisien dan menjaga suhu transformator dalam batas yang wajar untuk mencegah preliminary aging.

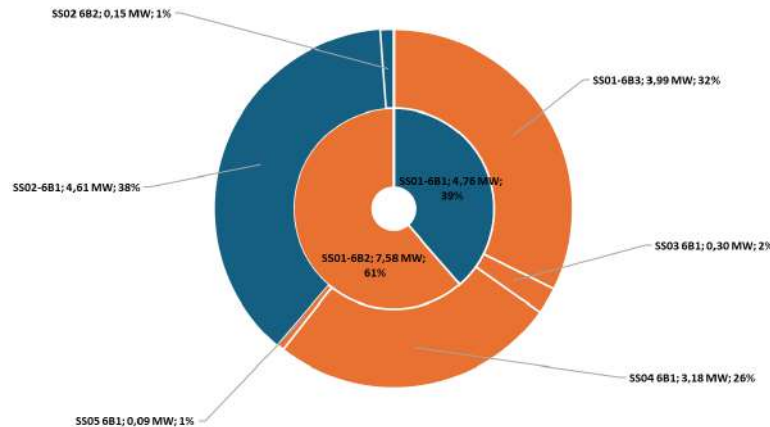
3.3 Profil Aliran Daya Sistem (Proposed Condition)



Gambar 5. SLD Plant Proposed Condition

Melalui gambar 5 diketahui bahwa perubahan konfigurasi dilakukan Trafo SS03-TR1 yang akan mendapatkan supply melalui substation SS02-6B2 menggunakan kabel N2XSEBY 3x95 mm² dengan perkiraan panjang tarikan kabel sepanjang 100 m. Diketahui bahwa besarnya drop tegangan pada kabel tersebut saat keadaan full load akan mencapai sebesar 0,1 persen, sehingga telah memenuhi Batasan

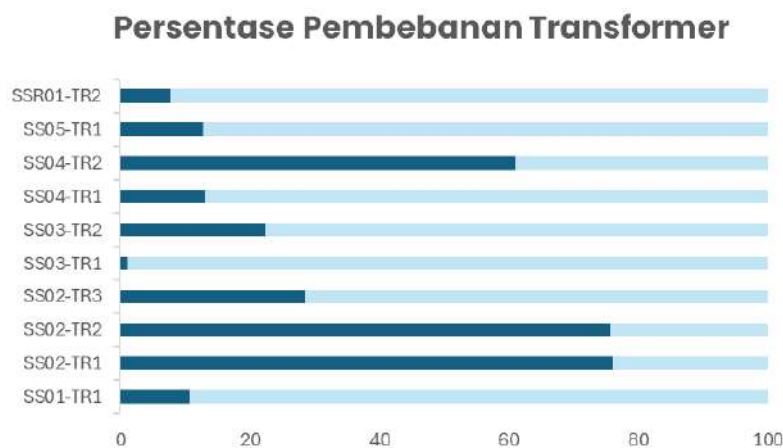
drop voltage sebesar 3%. Perubahan selanjutnya adalah penarikan kabel tegangan rendah sepanjang 100 m dari outgoing trafo SS03-TR 01 menuju substation SS03-0,4B1 dengan menggunakan kabel NYY 5x1x4x240mm². Pemilihan ukuran kabel tersebut dilakukan dengan mempertimbangkan drop tegangan maksimum saat kondisi full load yang diperhitungkan mencapai 2,28%. Sedangkan perubahan terakhir yakni penarikan kabel dari SS01-6B1 menuju SS02-6B1 yang direncanakan menggunakan N2XSEBY 3 x(3x150) mm² dengan voltage drop sebesar 0,14 persen.



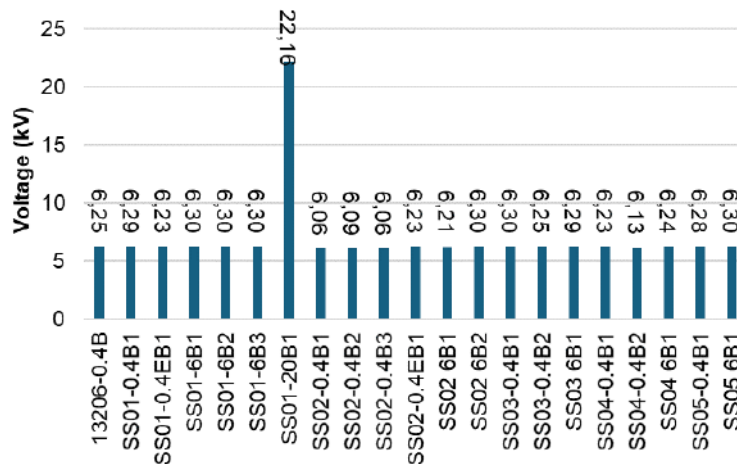
Gambar 6. Profil Pembebanan Kondisi Propose

Melalui Gambar 6 dapat diketahui bahwa pembebanan terbesar masih terdapat pada area SS01-622, namun pemerataan pembebanan pada kondisi yang menjadi lebih merata dengan 61 persen pembebanan berada pada SS01-6B2 dan 39 persen pembebanan berada pada SS01-6B1. Pembebanan tersebut tentunya bergantung sesuai dengan keadaan operasional plant yang berubah menyesuaikan kebutuhan produksi Selain itu, pembebanan SS01-62B2 dan SS01-62B1 sudah mencakup total pembebanan lainnya. Perlu dicatat bahwa kondisi yang berubah tersebut tidak boleh membebani transformer secara berlebihan untuk menghindari preliminary aging dari transformer. Dalam kasus ini pembebanan transformer dirangkum dan divisualisasikan melalui gambar 6.

Dapat diperhatikan bahwa persentase pembebanan pada transformer tidak jauh berbeda dibandingkan dengan kondisi normal mengingat tidak ada trafo yang berada pada kondisi overload dan pembebanan masih berada dibawah 80 persen kapasitas trafo sehingga masih memungkinkan apabila terjadi penambahan pembebanan yang tidak signifikan.



Gambar 7. Persentase Pembebanan Transformer (Proposed Condition)



Gambar 8. Persentase Tegangan Substation (Proposed Condition)

Evaluasi profil tegangan pada masing-masing substation yang divisualisasikan melalui gambar 8 menunjukkan bahwa level operasional tegangan pada masing-masing substation masih berada di bawah rated voltage pada substation. Namun perlu diperhatikan bahwa tegangan tersebut harus dibandingkan dengan rating tegangan pada peralatan seperti motor dan transformer untuk menghindari insulation failure akibat beroperasi melebihi tegangan nominalnya

3.4 Evaluasi Load Shedding

3.4.1 Skenario Transient Stability

1. Model dan Skenario

Untuk melakukan simulasi transient stability, maka dilakukan persiapan model dengan menggunakan data dan asumsi yang telah diuraikan pada bagian sebelumnya. Rangkuman umum model simulasi adalah:

1. Total daya pada sistem adalah sekitar 12,7 MW
1. Pola operasi normal STG menyuplai 11,2 MW dan PLN menyuplai 1,5 MW
2. Konfigurasi sistem yang digunakan mengacu pada operasi yang umum dilakukan di dengan kondisi STG sinkron dengan PLN yang dipisahkan oleh reaktor
3. Gangguan kestabilan yang disimulasikan berupa TRIPPING STG dan TRIPPING PLN yang beroperasi. Gangguan ini akan diamati berdasarkan kestabilan frekuensi dan tegangan, yang kemudian akan ditentukan besaran load shedding yang diperlukan.
4. Parameter yang akan diamati adalah frekuensi, tegangan, dan sudut rotor melalui mechanical power generator

2. Load Shedding dengan Trigger Frekuensi (Existing)

Pada bagian ini, dilakukan simulasi load shedding dengan menggunakan UFR relay yang bekerja dengan basis frekuensi telah diuraikan melalui flowchart pada gambar Adapun rekapitulasi LS existing dapat dilihat melalui tabel di bawah. Namun besaran load shedding yang dilepas pada setiap frekuensi akan berubah sesuai dengan kondisi pembebanan saat itu, sehingga akan menjadi tidak adaptif. Selain itu distribusi load shedding yang tidak merata juga dapat menimbulkan kemungkinan overshedding karena berpotensi menyentuh stage terakhir.

Tabel 2. Rekapitulasi LS Existing

LS STEP	CB LIST	LOAD LIST	MW	Freq (Hz)
LS 1	SS01-6B2 01	SS05 6B1	0,089	49,4
LS 2	SS01-6B2 03	SS03 6B1	0,297	49,2
LS 3	SS01-6B2 05	SS02 6B1	4,55	49

3. Load Shedding Status

Alur kerja LS berbasis status PLN breaker telah diuraikan melalui flowchart pada Gambar C. Untuk mengetahui kuantum besaran daya yang harus dilepas saat LS, tim konsultan telah melakukan simulasi dan menyimpulkan besaran beban dengan menggunakan cara seperti pada flowchart dan menghasilkan nilai load shedding seperti pada tabel.

Tabel 3. Rekapitulasi LS Status

LS STATUS	CB LIST	LOAD LIST	MW
Load shedding 1	SS02 6B1 04	SS02-TR2	1,02
	SS01-6B1 03	SS02 6B2	0,148
	TOTAL MW		1,168

4. Load Shedding dengan Trigger Frekuensi dan Output Lookup Table

Pada bagian ini, dilakukan simulasi load shedding dengan menggunakan basis frekuensi. Sedangkan besarnya beban yang dilepas ditentukan berdasarkan besaran daya yang telah dihitung sebelumnya dan dimasukkan kedalam sebuah tabel. Tabel tersebut menghubungkan antara besaran daya yang harus dilepas dan status STG pada saat tersebut.

LS STEP	CB LIST	LOAD LIST	MW	MW (Per Step)	
LS 1	SS01-6B2 03	SS03 SUBSTATION	0,297	1,317	49,41 Hz
	SS02 6B1 04	SS02-TR2	1,02		
LS 2	SS02 6B1 03	SS02-TR1	0,899	1,823	49 Hz
	SS04 6B1 04	SS04-TR2	0,819		
	SS04 6B1 03	SS04-TR1	0,105		
LS 3	SS04 6B1 06	01-P-6511B	0,562	1,861	48.6 Hz
	SS04 6B1 07	01-P-6511C	0,562		
	SS04 6B1 09	01-P6521B	0,562		
	SS01-6B3 04	01-P-1301	0,175		

3.4.2 Hasil Simulasi Transient Stability

Transient stability analysis pada PT. Petro Jordan Abadi dilakukan dengan menggunakan beberapa skenario yaitu ketika terjadinya outage pada generator, kasus terjadinya trip pada PLN atau PLN tidak dapat memberikan supply daya pada pabrik, dan ketiga adalah kasus short circuit yang terletak pada PLN yang dilanjutkan dengan tripnya breaker PLN.

Ketiga kasus tersebut ditinjau dengan tiga kondisi yaitu tanpa menggunakan mekanisme pelepasan beban, menggunakan mekanisme pelepasan beban existing, menggunakan mekanisme pelepasan beban status, dan menggunakan mekanisme pelepasan beban UFR.

3.4.3 PLN Trip

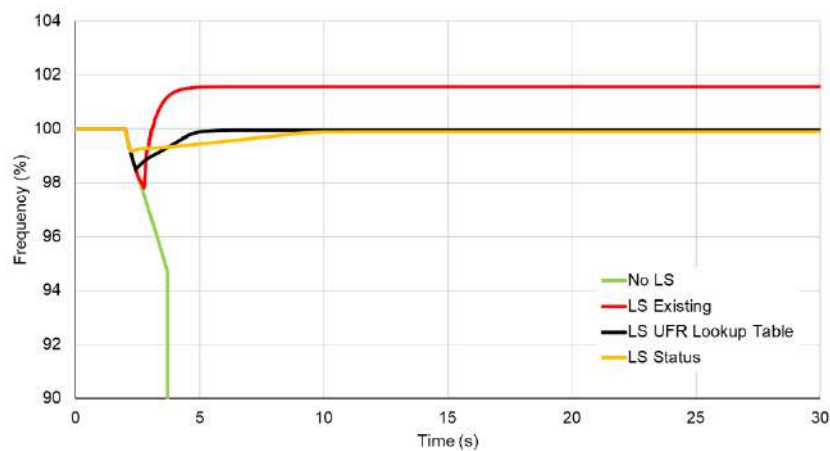
Melalui simulasi PLN Trip yang dilakukan pada saat $t=2s$, dapat diketahui bahwasistem tidak akan stabil ketika PLN trip dan tidak ada load shedding mengingat kemampuan STG saat ini hanya

mampu mencapai 11,5 MW karena keterbatasan steam sehingga frekuensi akan terus turun dan mengakibatkan generator trip akibat relay 81U generator yang divisualisasikan melalui Gambar .

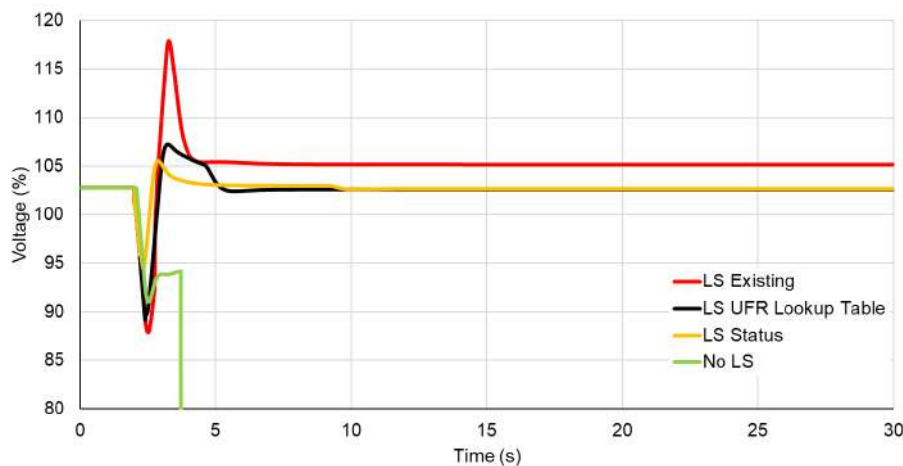
Selanjutnya dapat dilihat bahwa dengan menggunakan skema load shedding existing, UFR trigger hingga LS tahap 3 dengan total pelepasan beban sebesar >4MW akibat distribusi pembebanan yang tidak merata dan setting frekuensi yang terlalu sensitif. Jumlah beban yang dilepas tentunya terlalu besar sehingga sistem mengalami overshedding. Oleh karena itu, dibutuhkan adanya alokasi beban yang tepat sesuai dengan kebutuhan load shedding.

Melalui skema LS dengan Lookup Table, diketahui bahwa penurunan frekuensi hanya menyentuh LS stage 1 dengan total pelepasan beban sebesar 1,3 MW sehingga sehingga kontinuitas operasi menjadi lebih andal dengan perbedaan shedding sebesar 2,7 MW

Sedangkan pada LS status dapat bekerja lebih cepat karena memantau status breaker PLN sehingga penurunan frekuensi yang terjadi pada sistem pun menjadi lebih landai.



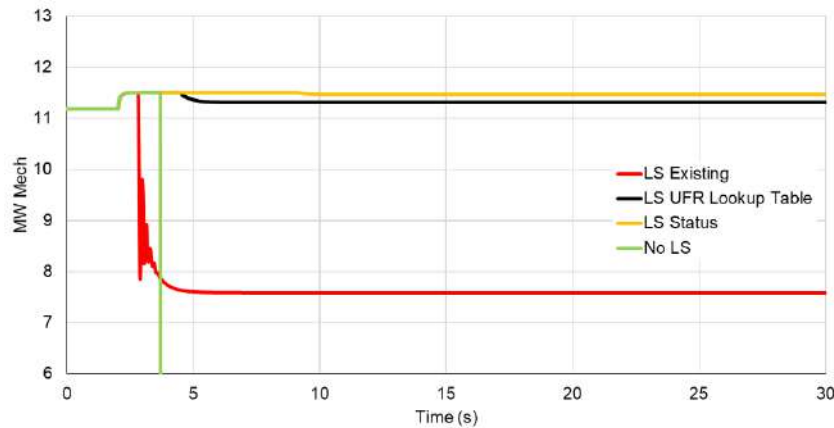
Gambar 9. Perbandingan Frequency Response Masing-Masing LS



Gambar 10. Perbandingan Voltage Response Masing-Masing LS

Melalui gambar 10 dapat diketahui bahwa penurunan tegangan tertinggi terjadi ketika menggunakan skema LS existing akibat waktu shedding yang terlalu lama karena harus menunggu frekuensi menyentuh setting yang terdapat pada UFR. Selain itu, terlihat bahwa tegangan akan mengalami overshoot sementara ketika terjadi pelepasan beban besar secara tiba-tiba sehingga exciter akan berusaha menstabilkan tegangannya. Sedangkan performa terbaik ketika menghadapi PLN trip

adalah dengan menggunakan LS status dimana penurunan tegangan yang terjadi paling kecil dan recovery voltage yang terjadi pun tidak mengalami overshoot yang tinggi.

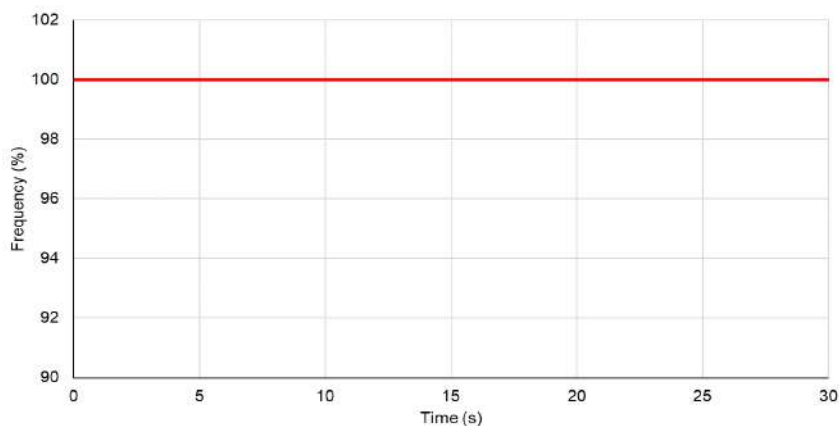


Gambar 11. Perbandingan STG Speed Response Masing-Masing LS

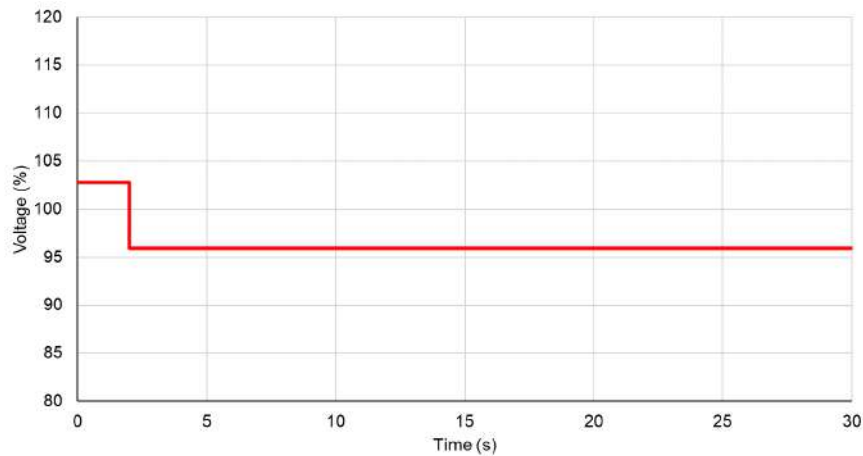
Gambar 11 dapat diketahui bahwa plant masih dapat beroperasi dengan normal dengan minimum load shedding dengan total pembebanan sebesar 11,3 MW sedangkan apabila mengandalkan load shedding existing, maka total pembebanan menjadi 7,7 MW akibat overshedding.

3.4.4 STG Trip

Pada saat STG trip ketika $t=2s$, idealnya PLN sebagai infinite grid akan mampu untuk menanggung semua pembebanan yang diberikan oleh STG mengingat langganan daya saat ini pada PJA telah sesuai kapasitas trafo sebesar 16 MVA. Melalui Gambar dan Gambar , diketahui bahwa frekuensi sistem akan tetap stabil namun profil tegangan akan cenderung mengalami undervoltage karena posisi tap change yang berada pada posisi 21 sehingga tegangan di sisi sekunder akan mengalami penurunan dengan tegangan sebesar, 5,75 kV. Tentunya tap changer akan memainkan peran yang krusial ketika STG trip untuk melakukan regulasi tegangan di sisi sekunder.

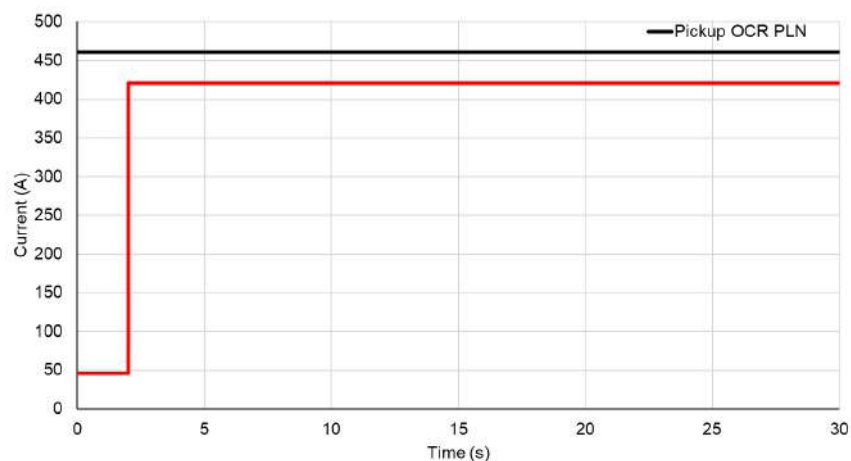


Gambar 12. Frekuensi Sistem Saat STG Trip



Gambar 13. Profil Tegangan Sistem Saat STG Trip

Saat STG trip, maka keseluruhan pembebanan akan ditanggung oleh PLN. Sehingga arus yang mengalir melalui coupler yang telah dipasang reactor akan mengalami kenaikan arus dari 400 A menjadi 900 A. Kenaikan pembebanan tersebut tentunya masih di bawah rating nominal peralatan sebesar 1250 A sehingga masih aman. Hal tersebut dapat dilihat melalui gambar 15. Sedangkan kenaikan arus pada transformer tersebut dapat dilihat melalui Gambar 16. Kenaikan arus tersebut tentunya masih di bawah arus pickup dari PLN sehingga tidak akan terjadi tripping pada sisi PLN



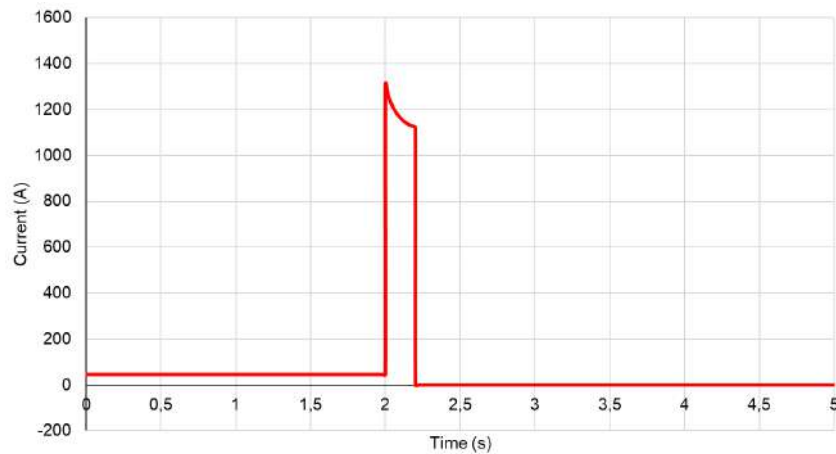
Gambar 16. Arus yang Mengalir Pada Reactor Saat STG Trip

Pada kasus STG outage sistem dapat berjalan normal dikarenakan seluruh pembebanan pada sistem dapat di cover oleh supply daya dari PLN yang berlangganan sebesar 16 MW. Sehingga pada kasus ini pelapasan beban tidak diperlukan.

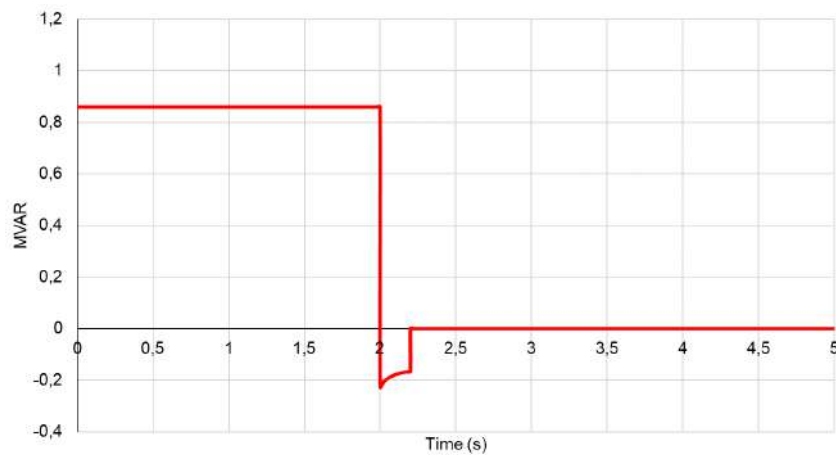
3.4.5 PLN 20 KV SC

Saat terjadi gangguan short circuit pada jaringan PLN 20 kV, tentunya semua plant yang terhubung pada jaringan akan terdampak bergantung dengan durasi gangguan. Plant yang memiliki generator seperti PJA tentunya akan memberikan kontribusi arus gangguan pada titik gangguan di sisi PLN. Oleh karena itu diperlukan directional overcurrent relay (DOCR) agar saat terjadi gangguan di sisi PLN, DOCR akan bekerja untuk trigger trip pada breaker PLN sehingga kontinuitas operasi di sisi PJA tetap terjaga yang juga harus diimbangi dengan skema load shedding yang baik.

Sebagai ilustrasi, ketika pada jaringan PLN mengalami SC pada $t=2s$, maka akan terjadi penurunan tegangan pada titik gangguan, sehingga STG akan berusaha untuk menstabilkan tegangan dengan menyuplai daya reaktif menuju titik gangguan. Hal ini dapat dilihat melalui Gambar dan Gambar . Bahkan kontribusi arus dari PJA menuju titik gangguan dapat mencapai 1200 A. Dengan demikian, DOCR diperlukan untuk mengisolasi gangguan dengan cepat sehingga plant dapat Kembali beroperasi secara normal. Dalam kasus ini, kemudian DOCR akan bekerja mengisolasi gangguan pada $t=2.2s$ sehingga kontribusi melalui 16 MVA transformer dapat diputus dan selanjutnya akan bergantung kepada sistem load shedding dari PJA.

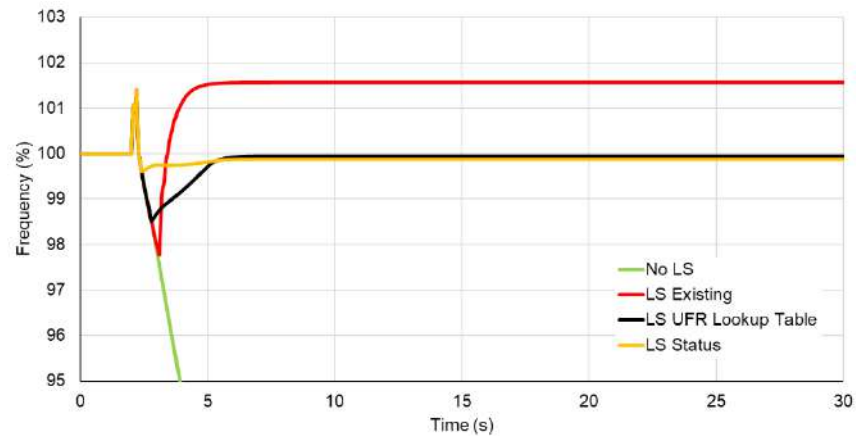


Gambar 17. Arus yang Mengalir pada 16 MVA Transformer Saat PLN SC

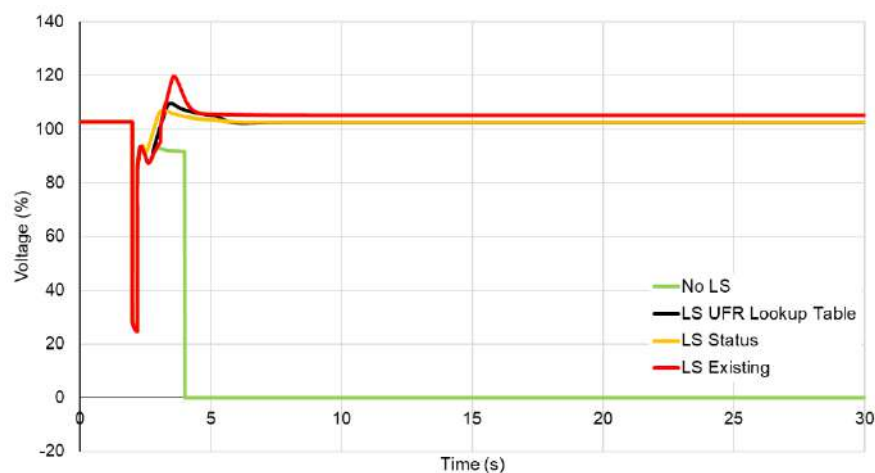


Gambar 18. Kontribusi Backfeed Daya Reaktif yang Mengalir pada 16 MVA Transformer

Melalui simulasi PLN SC dilakukan pada saat $t=2s$, DOCR beroperasi saat $t=2.2 s$, maka perbandingan efektifitas skema load shedding dapat dilihat melalui Gambar . Respon frekuensi tersebut memiliki hasil yang sama dengan bagian 0 karena berujung pada PLN Trip. Sehingga dapat disimpulkan bahwa LS status dapat bekerja lebih cepat karena memantau status breaker PLN sehingga penurunan frekuensi yang terjadi pada sistem pun menjadi lebih landai yang kemudian diikuti LS UFR Lookup Table dan LS Existing.



Gambar 19. Perbandingan Frequency Response Masing-Masing LS



Gambar 20. Perbandingan Voltage Response Masing-Masing LS

Melalui gambar 20 dapat diketahui bahwa penurunan tegangan saat terdapat short circuit pada jaringan PLN di dekat PJA mencapai 25%. Sehingga perlu diperhatikan bahwa setting undervoltage relay harus memiliki time delay setidaknya 1s untuk menghindari adanya nuisance tripping akibat gangguan di luar sistem PJA. Setelah DOCR beroperasi, dapat dilihat bahwa drop voltage tertinggi terjadi ketika menggunakan skema LS existing akibat waktu shedding yang terlalu lama karena harus menunggu frekuensi menyentuh setting yang terdapat pada UFR. Selain itu, terlihat bahwa tegangan akan mengalami overshoot sementara ketika terjadi pelepasan beban besar secara tiba-tiba sehingga exciter akan berusaha menstabilkan tegangannya. Sedangkan performa terbaik ketika menghadapi PLN trip adalah dengan menggunakan LS status dimana penurunan tegangan yang terjadi paling kecil dan recovery voltage yang terjadi pun tidak mengalami overshoot yang tinggi.

4. KESIMPULAN

1. Rencana pemindahan transformer feeder menuju feeder yang baru dapat dilakukan dengan beberapa pertimbangan untuk menjaga drop voltage di bawah 3% dari titik awal hingga ujung saluran.
2. Integrasi sistem kelistrikan antara Petro Jordan Abadi dengan PLN dapat dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa aspek:
 - a. PLN bertindak sebagai referensi (isoch) dari seluruh generator yang beroperasi secara serempak sehingga fluktuasi beban ditanggung oleh PLN
 - b. Dilakukan pengembangan skema load shedding eksisting untuk menghadapi kondisi krusial ketika terjadi islanding sehingga keandalan sistem tetap terjaga.

- c. Kemungkinan terjadinya voltage dip yang dapat menyebabkan lepas latching apabila terdapat coil contactor yang disuplai dari potential transformer.
3. Rekomendasi skenario load shedding terbaik yang diberikan adalah menggunakan load shedding status sebagai proteksi primer karena memiliki performa yang lebih baik sedangkan load shedding stage berbasis frekuensi digunakan sebagai proteksi sekunder karena memperhatikan kondisi frekuensi sistem secara langsung. Backup ini bertujuan untuk mengantisipasi apabila terdapat kegagalan skema LS berdasarkan status CB STG atau jika daya yang dilepas pada lookup table belum mampu memulihkan kestabilan sistem.

REFERENSI

- [1] PT Petro Jordan Abadi, "Company Profile," accessed Apr. 2026.
- [2] J. R. Couper, W. R. Penney, J. R. Fair, and S. M. Walas, *Chemical Process Equipment: Selection and Design*. Elsevier, 2012.
- [3] International Labour Organization, "Workplace Safety and Health Standards," 2020.
- [4] A. Crane and D. Matten, *Business Ethics*. Oxford University Press, 2016.
- [5] J. J. Grainger and W. D. Stevenson, *Power System Analysis*. McGraw-Hill, 1994.
- [6] P. Kundur, *Power System Stability and Control*. McGraw-Hill, 1994.
- [7] H. Saadat, *Power System Analysis*. McGraw-Hill, 2002.
- [8] A. J. Wood, B. F. Wollenberg, and G. B. Sheble, *Power Generation, Operation, and Control*. Wiley, 2013.
- [9] B. M. Weedy, *Electric Power Systems*. Wiley, 2012.
- [10] T. Gönen, *Electric Power Distribution System Engineering*. CRC Press, 2014.