

MODEL DAN LEVEL RESILIENSI GRID 150 KV DI SISTEM KHATULISTIWA DARI GANGGUAN MAN-MADE ATTACK YANG DIAKIBATKAN OLEH LAYANGAN MENGGUNAKAN METODE SIMULASI

MODEL & LEVEL OF 150 KV GRID RESILIENCE IN THE KHATULISTIWA SYSTEM FROM MAN-MADE ATTACK DISRUPTION CAUSED BY KITES USING SIMULATION METHOD

Ajeng Viola Endri¹, Sudarmono Sasmono², Cahyantari Ekaputri³

^{1,2,3} Universitas Telkom, Bandung

ajengviolaendri@student.telkomuniversity.ac.id¹, ssasmono@telkomuniversity.ac.id²,
cahyantarie@telkomuniversity.ac.id³

Abstrak

Pemadaman listrik terjadi karena adanya gangguan pada sistem kelistrikan. Hal ini dapat menyebabkan kerugian bagi beberapa pihak. Gangguan yang sering terjadi adalah layang-layang, dimana tersangkutnya benang atau tali layang-layang di saluran transmisi. Proses pemulihan pemadaman listrik dapat disebut sebagai resiliensi. Oleh karena itu, penelitian ini akan memodelkan resiliensi di grid 150 kV Sistem Khatulistiwa (Sistem Kalimantan Barat) untuk menentukan biaya resiliensi yang akibat gangguan dari layang-layang.

Adapun metode yang digunakan adalah metode pendekatan simulasi dengan mengolah data gangguan akibat layang-layang serta durasi pemulihan yang didapatkan dari PLN UIKL Kalimantan Barat. Data ini menjadi dasar untuk melakukan simulasi gangguan serta menganalisa level resiliensi nya Sistem Khatulistiwa dengan menghitung energi tak terpenuhi (ENS). Simulasi yang dilakukan berupa analisa aliran daya, kestabilan transien untuk rotor dan tegangan, serta kestabilan frekuensi.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pemadaman listrik total akan terjadi jika terjadi gangguan di *Line* Transmisi Sei Raya – Siantan 1 dan 2. Adapun biaya resiliensi nya adalah sebesar Rp22.665.798 dengan energi yang tidak disajikan sebesar 22,734 MWH.

Kata Kunci: resiliensi, pemodelan, gangguan, layang-layang

Abstract

Power outages occurs due to disturbances in the electrical system. It can cause losses for some parties. Disturbances that often occur are kites, where the kite thread or string gets stuck in the transmission line. The process of recovering from a power outage can be referred to as resilience. Therefore, this study will model resilience in the 150 kV grid of the Equator System (West Kalimantan System) to determine the cost of resilience due to interference from kites.

The method used is a simulation approach method by processing disturbance due to kites and recovery duration data from PLN UIKL West Kalimantan. This data is the basis for performing disturbance simulations and analyzing the level of resilience of the Khatulistiwa System by calculating the wasted energy. The simulations carried out are load flow analysis, transient stability for the rotor and voltage, and frequency stability.

The results of this study indicate that a total power outage will occur if there is a disturbance in the Sei Raya – Siantan 1 and 2 Transmission Lines The cost of resilience is IDR 22,665,798 with the energy not served at 22,734 MWH.

Keywords: resilience, modeling, electrical system, disturbance, kite

1. Pendahuluan

Layangan adalah salah satu permainan khas Indonesia yang dimainkan oleh berbagai kalangan. Layangan terdiri dari lembaran bahan tipis berkerangka yang diterbangkan ke udara dan menggunakan tali atau benang sebagai pengendali. Layangan memanfaatkan kekuatan hembusan angin sebagai alat pengangkatnya. Adapun sejarahnya, di Indonesia layangan ditemukan di sebuah lukisan gua pada jaman mesolitikum di Pulau Muna, Sulawesi Tenggara. Layangan biasa dimainkan di lapangan atau area yang luas, dan tak jarang lokasi bermain ini dekat dengan alat vital negara yaitu saluran transmisi 150 kV. Tentunya hal ini menjadi sangat riskan jika pemain layangan tidak berhati-hati. Seringkali tali atau benang layangan terputus sehingga layangan akan tersangkut di salah satu saluran transmisi, sehingga menyebabkan gangguan pada saluran transmisi.[25][27]

Beberapa waktu lalu dilaporkan bahwa telah terjadi pemadaman total / *blackout* di Indonesia yang disebabkan oleh tersangkutnya benang atau tali layangan di kabel saluran transmisi 150 kV. Menurut informasi dari media massa bahwa telah terjadi pemadaman listrik sebanyak 74 kali dari bulan juni-juli 2020 di Bali dan 600 kali terhitung sampai Bulan September 2020 di Jawa Timur. Hal ini mengakibatkan kerugian yang besar untuk PLN dan pengguna listrik itu sendiri. [7][8]

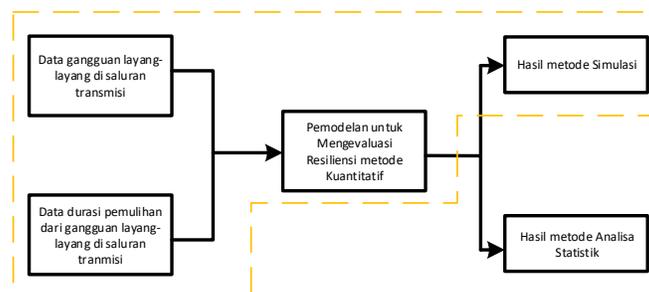
Penanganan yang dilakukan PLN untuk mengatasi masalah ini adalah mengganti jaringan listrik yang mati dengan jaringan listrik lainnya dan mengambil layang-layang yang tersangkut di kabel secara manual. Proses pemulihan pemadaman yang terjadi di Bali berlangsung selama 23 menit untuk menghidupkan listrik kembali. Proses pemulihan sistem kelistrikan dari gangguan yang tidak dapat diprediksi merupakan pengertian dari resiliensi. [3][23][11]

Penelitian terkait resiliensi hanya yang diakibatkan oleh gangguan bencana alam dan perilaku manusia berupa terorisme. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memodelkan dan menentukan level resiliensi dari sistem khatulistiwa 150 kV dalam mengantisipasi gangguan layangan.

2. Dasar Teori

2.1 Konsep Solusi

Konsep pada tugas akhir ini adalah pemodelan sistem dengan metode pendekatan simulasi untuk mendapatkan jumlah biaya resiliensi akibat gangguan *man-made attack* berupa layangan, sehingga nantinya dapat diperkirakan perhitungan secara ekonomis nya untuk menurunkan biaya resiliensi tersebut. [13]



Gambar 1 Diagram Fungsi Sistem.

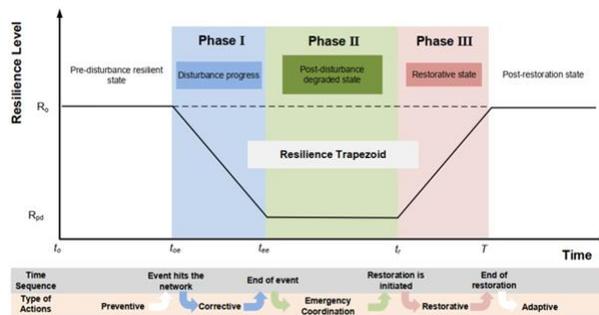
Prinsip kerja sistem seperti yang terlihat pada gambar di atas yaitu:

1. Memastikan pemodelan sistem telah sesuai dengan pengukuran dari PLN, agar pemodelan dapat digunakan sebagai alat simulasi.
2. Melakukan simulasi terkait untuk mendapatkan hasil berupa analisa sistem saat telah terjadi gangguan, agar dapat menentukan biaya resiliensi.

Output pada sistem ini berupa jumlah biaya resiliensi akibat adanya gangguan layang-layang, dimana biaya inilah yang menjadi kerugian untuk PLN.

2.2. Resiliensi dalam Bidang Sistem Kelistrikan

IEEE mendefinisikan resiliensi adalah suatu kemampuan menahan serta mengurangi besarnya waktu yang dibutuhkan untuk suatu gangguan termasuk kemampuan mengantisipasi, menyerap, beradaptasi, dan pulih dari gangguan. Selain itu, resiliensi terbagi menjadi 3 fase yaitu saat gangguan terjadi, saat gangguan telah terjadi, dan saat kondisi pemulihan seperti pada gambar dibawah ini.[11]



Gambar 2 Trapezoid Resiliensi

2.2.1 Evaluasi Resiliensi di Sistem Kelistrikan dengan Metode Kuantitatif

Metode ini dilakukan berdasarkan performa sistem. Hasil metode ini terlihat dengan pengurangan besar dan durasi penyimpangan dari performa yang ditargetkan. Selain itu, metode ini juga seharusnya dapat mencerminkan ketidakpastian dan digunakan untuk pengambilan keputusan. Metode ini dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu dengan metode simulasi, metode analisis dan analisa statistik. Adapun hasil dari metode kuantitatif adalah biaya restorasi, probabilitas restorasi, waktu dan kecepatan restorasinya. [13]

2.2.2 Resiliensi dan Reliabilitas

Resiliensi sering disalah-artikan memiliki kesamaan dengan reliabilitas (kehandalan). Reliabilitas merupakan berfungsinya suatu sistem selama yang diharapkan dalam berbagai kondisi yang dialami di lapangan. Reliabilitas umumnya diukur dengan indeks interupsi yang didefinisikan oleh *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) Standard 1366. Adapun perbedaan keduanya dapat ditunjukkan oleh tabel berikut. [2][18]

2.3 Saluran Transmisi

Saluran transmisi merupakan salah satu komponen dari sistem tenaga listrik, dimana berfungsi untuk mentransfer energi listrik dari unit pembangkit ke beban menggunakan bahan konduktor. Saluran transmisi umumnya terbagi menjadi dua jenis yaitu saluran udara/overhead line (menggunakan tiang-tiang transmisi) dan saluran bawah tanah/underground (menggunakan kabel-kabel dibawah tanah). Semua saluran transmisi memiliki sifat listrik seperti resistansi, induktansi, kapasitansi, dan konduktansi

2.4 Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Gangguan yang terjadi di saluran transmisi sering mengakibatkan hubung singkat. Gangguan ini diakibatkan oleh beberapa hal seperti kegagalan peralatan, petir, pohon tumbang, layangan yang tersangkut, dan lain-lain. Jenis gangguan terbagi menjadi beberapa jenis seperti satu fasa ke tanah, dua fasa, dua fasa ke tanah, tiga fasa ke tanah, dan fasa ke fasa. Gangguan satu fasa ke tanah atau *single phase to ground* adalah jenis gangguan yang sering terjadi di saluran transmisi. Contohnya adalah ketika benang atau tali layangan yang tersangkut melilit atau menyentuh salah satu fasa di saluran transmisi. [32]

2.5 Studi Aliran Daya

Studi aliran daya adalah studi yang dapat menjelaskan tegangan sistem dan aliran daya pada saat sistem bekerja di keadaan normal. Aliran daya yang dimaksud berupa daya aktif dan daya reaktif. Studi ini juga memberikan informasi terkait jumlah daya yang dihasilkan, rugi-rugi daya, jumlah beban, dan tegangan. Studi ini juga bermanfaat untuk perencanaan sistem yang akan datang untuk meningkatkan kualitas sistem kelistrikan. Pada studi aliran daya dilakukan perhitungan aliran daya dan tegangan pada terminal/*bus* tertentu seperti bus beban dan bus generator. [35]

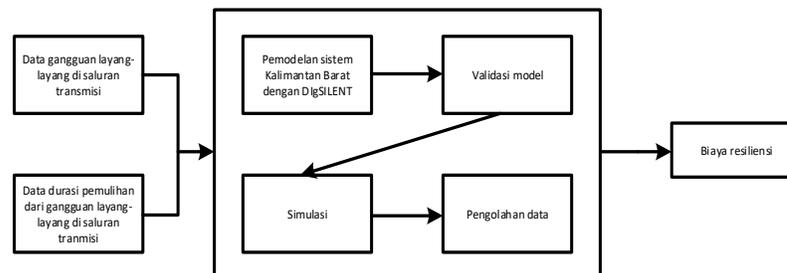
2.7 Kestabilan Sistem

Kestabilan sistem merupakan kemampuan suatu sistem tenaga listrik untuk mempertahankan keadaan stabil setelah terjadi gangguan dan saat telah terjadi gangguan. Kestabilan merupakan salah satu cara untuk mempertahankan operasi sinkron, dikarenakan sistem tenaga menggunakan mesin sinkron untuk menghasilkan tenaga listrik. Aspek yang diperhatikan dalam kestabilan adalah hubungan yang dinamis antara sudut rotor generator serta sudut daya. Gangguan yang mempengaruhi kestabilan sistem terbagi menjadi dua, yaitu gangguan kecil (kestabilan tunak) dan gangguan besar (kestabilan transien). Adapun gangguan kecil berupa perubahan beban terus menerus, sedangkan gangguan besar berupa lepas pembangkit dan hubung singkat. [33]

3. Perancangan Sistem

3.1 Desain Sistem

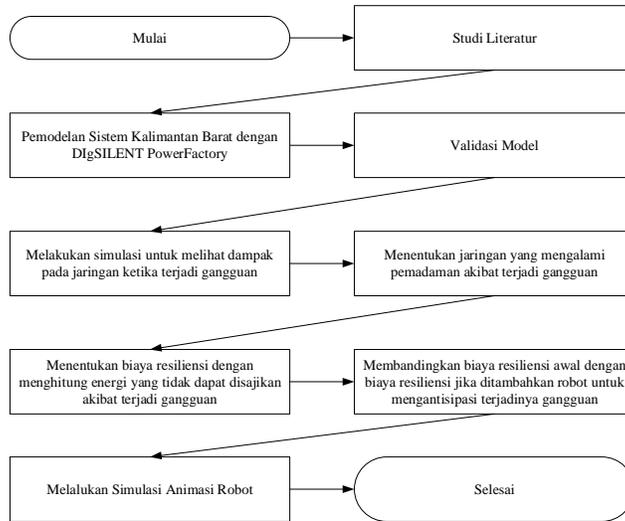
Pada sistem ini digunakan software DIGSILENT untuk melakukan pemodelan kemudian model akan divalidasi dengan membandingkan hasil pengukuran oleh PLN. Selanjutnya, akan dilakukan simulasi yang terdiri dari simulasi *load flow*, kestabilan transien, dan kestabilan frekuensi. Setelah itu, dilakukan pengolahan data berupa analisa yang akan menghasilkan biaya resiliensi.



Gambar 3 Diagram Blok Sistem

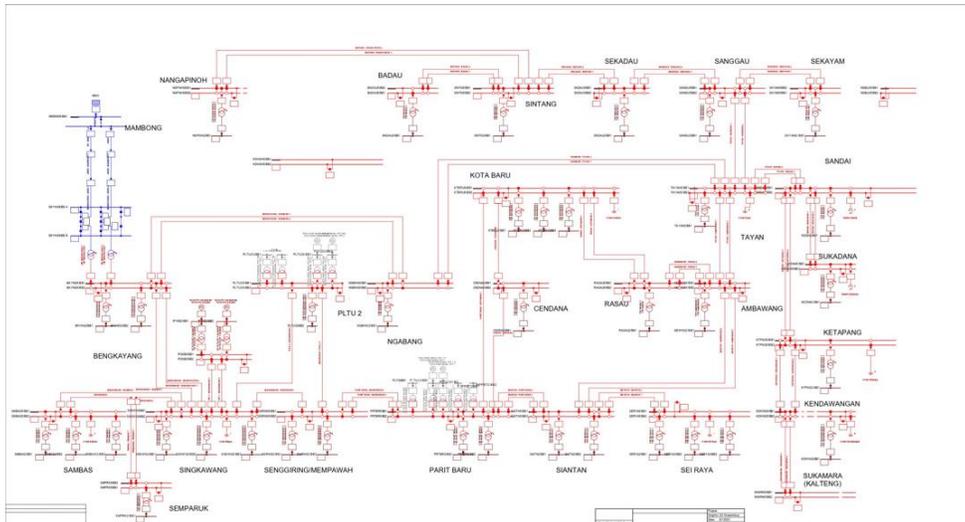
3.2 Desain Perangkat Lunak

3.2.1 Alur Pengerjaan Sistem



Gambar 4 Alur Pengerjaan

3.2.2 Single Line Diagram Sistem Khatulistiwa



Gambar 5 Single Line Diagram Sistem Khatulistiwa

4. Hasil dan Analisis

4.1 Pemilihan Line di Sistem Khatulistiwa

Pemilihan dilakukan dengan cara melihat hasil probabilitas gangguan tertinggi dengan probabilitas total sebesar 60% diantara daerah yang lain. Data gangguan didapatkan dari PLN UIKL dan PLN UP3B Kalimantan Barat.

Tabel 1 Daerah dengan Probabilitas Gangguan Tertinggi

Daerah/GI	Probabilitas
Line 2 Sei Raya-Siantan	0,193832599

Line 1 Sei Raya-Siantan	0,126651982
Line Siantan-Parit Baru	0,110132159
Line Senggiring-PLTU Bengkayang	0,0980176212
Line 1 Parit Baru-Senggiring	0,072687225

4.2 Simulasi Load Flow

Simulasi *Load Flow* atau aliran daya ditujukan untuk melihat keadaan sistem saat sebelum terjadi gangguan dan setelah terjadi gangguan. Adapun parameter yang diperhatikan adalah seperti kejadian pemadaman dan pembebanan berlebih pada saluran.

Tabel 2 Rangkuman Simulasi *Load Flow*

No	Skenario		Blackout	Overloading
1	Keadaan Normal		x	x
2	Gangguan Hubung Singkat <i>Single Phase to Ground</i>	GI Senggiring-PLTU	x	x
3		GI Senggiring-Parit Baru Line 1	x	x
4		GI Parit Baru-Siantan	x	x
5		GI Siantan-Sei Raya	✓	x

4.3 Simulasi Gangguan untuk Kestabilan Transien

Pada tahap ini dilakukan simulasi gangguan berupa hubung singkat yaitu satu fasa ke tanah untuk melihat kestabilan transiennya. Parameter yang dilihat untuk kestabilan transien adalah sudut rotor serta tegangan nya dengan menganalisa hasil grafik.

Tabel 3 Rangkuman Simulasi Kestabilan Transien

No	Skenario	Kembali Stabil	
		Sudut Rotor	Tegangan
1	Keadaan Normal	✓	✓
2	Gangguan Hubung Singkat <i>Single Phase to Ground</i>	GI Senggiring-PLTU	✓
3		GI Senggiring-Parit Baru Line 1	✓
4		GI Parit Baru-Siantan	✓
5		GI Siantan-Sei Raya	✓

4.4 Simulasi Gangguan untuk Kestabilan Frekuensi

Pada tahap ini dilakukan simulasi gangguan berupa hubung singkat yaitu satu fasa ke tanah untuk melihat kestabilan frekuensi. Parameter yang dilihat untuk kestabilan ini adalah kembali stabil atau tidaknya frekuensi dengan menganalisa hasil grafik.

Tabel 4 Rangkuman Simulasi Kestabilan Frekuensi

No	Skenario	Kestabilan Frekuensi	
		Kembali Stabil	Melewati Batas Acuan
1	Keadaan Normal	✓	×
2	Gangguan Hubung Singkat <i>Single Phase to Ground</i>	GI Senggiring-PLTU	✓
3		GI Senggiring-Parit Baru Line 1	✓
4		GI Parit Baru-Siantan	✓
5		GI Siantan-Sei Raya	✓

4.5 Perhitungan Jumlah Biaya Resiliensi

Pada tahap ini dilakukan pemilihan daerah yang mengalami pemadaman untuk dihitung biaya resiliensinya. Adapun sesuai hasil *load flow*, maka daerah yang mengalami pemadaman adalah gardu induk Sei Raya. Oleh karena itu ,dilakukan proses perhitungan jumlah biaya resiliensi nya.

Tabel 5 Rangkuman Simulasi Kestabilan Frekuensi

Daerah Gangguan	Daya Keluaran Pembangkit (MW)		Daya yang Hilang (MW)	Durasi Pemulihan (Hour)	EENS** (MWH)	Biaya Kerugian (Rp)
	Sebelum gangguan	Setelah gangguan				
Line Sei Raya-Siantan 1&2	316,88	300,04	16,84	1,35*	22,734	22.665.798***

Keterangan,

*: durasi *recovery* terlama

** : energi yang tidak dapat disajikan oleh PLN kepada pengguna

***: nominal harga per kWh di Kalimantan Barat untuk tegangan tinggi sebesar Rp997,-

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari pemodelan resiliensi grid 150 kV di Sistem Khatulistiwa dengan metode pendekatan simulasi, dapat disimpulkan bahwa:

1. Resiliensi dapat dimodelkan melalui simulasi yaitu dengan menentukan daerah yang mengalami pemadaman akibat gangguan layang-layang. Daerah yang memiliki probabilitas gangguan tertinggi tidak semuanya mengalami pemadaman saat terjadi gangguan. Melainkan, hanya satu gardu induk saja yang mengalami pemadaman yaitu gardu induk sei raya dengan dua saluran transmisi dari gardu induk siantan. Hal ini dikarenakan gardu induk sei raya hanya mendapat aliran daya dari gardu induk siantan. Jadi, ketika saluran transmisi antara gardu induk sei raya dan siantan terputus maka daerah sei raya akan mengalami pemadaman.
2. Sistem kelistrikan di daerah dengan probabilitas gangguan tertinggi terbilang handal. Hal ini ditunjukkan dengan hasil simulasi kestabilan transien dan frekuensi, dimana sistem kembali ke keadaan stabil saat telah terjadi gangguan. Sehingga, tidak dibutuhkan mitigasi lebih lanjut untuk sistem kelistrikannya.
3. Penentuan level resiliensi dapat dilakukan dengan perhitungan biaya resiliensi untuk pemadaman yang terjadi di daerah sei raya sebesar Rp22.665.798 untuk satu kali gangguan. Sehingga, jika total gangguan untuk

wilayah tersebut dalam satu tahun sebanyak 25 kali maka total biaya resiliensi yang akan ditanggung PLN sebesar Rp566.644.950.