

## **Analisis Kontingensi pada Sistem Pemakaian Sendiri PLTU Ombilin**

**Yulisman<sup>1</sup>, Fiki Rahman<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat

<sup>\*</sup>Corresponding author, e-mail: yulisman@umsb.ac.id<sup>1</sup>, rahmanfiki96@gmail.com<sup>2</sup>

**Abstrak.** Kelangsungan energi listrik diperlukan sebuah manajemen energi listrik dengan efisiensi tinggi dan bahan bakar yang mudah didapat. Salah satunya adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Ombilin dengan kapasitas 2 x 100 MW. Pada PLTU Ombilin terdapat sebuah sistem pemakaian sendiri yang di peroleh dari generator ketika pembangkit beroperasi. Dalam Penelitian ini dilakukan Analisis kontingensi pada sistem pemakaian sendiri yang disimulasi menggunakan software ETAP 12.6. Analisis kontingensi adalah studi tentang keamanan sistem tenaga listrik dengan melakukan analisis aliran daya dari dampak sejumlah kasus-kasus kontingensi seperti pelepasan dari satu atau lebih generator dan lepasnya salah satu elemen transmisi. Dengan analisis kontingensi sebuah sistem tenaga listrik akan dapat dilakukan perhitungan terhadap gangguan yang terjadi misalnya pada pemakaian sendiri suatu unit pembangkit listrik, sehingga dapat memprediksi perubahan kapasitas sistem maupun tegangan bus yang tersisa apakah masih bisa dibebani atau sudah mengalami kondisi overload. Pada penelitian ini dilakukan analisis kontingensi pada sistem pemakaian sendiri PLTU Ombilin dengan 5 skenario untuk melihat hasil tegangan dan indeks performa (IP) saat terjadi kontingensi dengan 5 skenario kemudian dilakukan ranking. Berdasarkan hasil 5 skenario tersebut didapatkan hasil didapatkan tegangan paling tinggi pada skenario-3 yaitu sebesar 6,18 kV dengan indeks performa (IP) 2.4915 dan tegangan paling rendah pada skenario-4 yaitu sebesar 6,13 kV dengan indeks performa (IP) 3.1526.

**Kata kunci:** Generator, Kontingensi, ETAP

**Abstract.** *The continuity of electrical energy requires an electric energy management with high efficiency and easy-to-obtain fuel. One of them is the Ombilin Steam Power Plant (PLTU) with a capacity of 2 x 100 MW. At ombilin power plant there is a system of its own use that is obtained from the generator when the plant is operating. In this study, contingency analysis was conducted on its own system simulated using ETAP 12.6 software. Contingency analysis is the study of the safety of an electric power system by conducting a power flow analysis of the impact of a number of contingency cases such as the release of one or more generators and the release of one of the transmission elements. With contingency analysis, an electric power system will be able to calculate the disruption that occurs for example in the use of a power plant unit, so that it can predict changes in system capacity and the remaining bus voltage whether it can still be burdened or has experienced overload conditions. In this study, a contingency analysis was conducted on the Ombilin PLTU's own usage system with 5 scenarios to see the results of voltage and performance index (IP) when contingencies occurred with 5 scenarios then ranked. Based on the results of 5 scenarios, the highest voltage obtained in scenario-3 is 6.18 kV with a performance index (IP) of 2.4915 and the lowest voltage in scenario-4 is 6.13 kV with a performance index (IP) of 3.1526.*

**Keywords:** Generator, Contingency, ETAP

### **PENDAHULUAN**

Kebutuhan manusia akan energi listrik semakin hari semakin besar, karena energi listrik adalah energi yang paling dibutuhkan untuk mempermudah segala aktivitas manusia. Indonesia adalah negara yang sedang berkembang, dan permintaan masyarakat akan kebutuhan listrik semakin meningkat. Pemerintah senantiasa memfasilitasi dan menjamin tercukupinya kebutuhan energi listrik dengan cara membangun pusat-pusat pembangkitan listrik.

Pembangkit tenaga yang menghasilkan listrik dari uap yang tersedia di Indonesia, salah satunya yaitu PLTU Ombilin sebagai tempat melaksanakan penelitian. PLTU menggunakan sumber daya alam batubara sebagai bahan bakarnya. Perubahan energi yang terjadi secara kimia dengan proses pembakaran, lalu hasil dari proses pembakaran tersebut berupa uap panas (energi thermal) kemudian dari uap tersebut diubah lagi menjadi energi mekanis dan terakhir diubah menjadi energi listrik.

Sistem pemakaian sendiri pada PLTU digunakan khusus untuk memenuhi kebutuhan beban pemakaian sendiri dalam siklus PLTU. PLTU Ombilin unit 1-2 memiliki transformator pemakaian sendiri yaitu unit SST (*Station Service Transformer*) yang digunakan saat menyalakan unit pembangkit untuk pertamakalinya (*start-up*) dan masing-masing unit mempunyai UAT (*Unit Auxiliary Transformer*) untuk mensuplai kebutuhan daya pemakaian sendiri yang umumnya berupa beban tegangan menengah 6 kV serta beban tegangan rendah 380 V.

Penelitian ini akan membahas tentang analisa kontingensi pemakaian sendiri pada PLTU Ombilin dengan simulasi menggunakan software ETAP (*Electric Transient Analysis Program*).

### **Batasan Masalah**

Agar pembahasan ini tidak menyimpang dari topik yang telah ditentukan maka penulis memberi batasan masalah sebagai berikut:

- a. Analisis kontingensi dilakukan hanya pada sistem 6,3 kV pemakaian sendiri PLTU Ombilin unit 1.
- b. Trafo daya 6,3/0,38 kV diasumsikan sebagai beban.

### Tujuan

Penelitian ini bertujuan sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh kontingensi yang terjadi pada sistem pemakaian sendiri PLTU Ombilin.
2. Untuk memperoleh performansi indeks dari akibat kontingensi pada sistem pemakaian sendiri PLTU Ombilin.
3. Untuk mengevaluasi dan melakukan perbaikan pada sistem pemakaian sendiri PLTU Ombilin.

### Landasan Teori

Penelitian pendekatan yang efisien untuk ranking kontingensi pada kondisi gangguan saluran berdasarkan stabilitas tegangan. Teknik kompensasi dilakukan pada perhitungan kontingensi untuk setiap kemungkinan yang terjadi.<sup>[1]</sup>

Penelitian dilakukan menggunakan aplikasi MATLAB dengan bantuan dua indeks kinerja penting (daya aktif dan daya reaktif) yang mengidentifikasi tingkat keparahan sistem karena pemutusan saluran. Penelitian ini bertujuan mendapatkan hasil perhitungan yang diurutkan sesuai nilai IP, dimana nilai IP terbesar merupakan kontingensi dengan resiko paling tinggi pada sistem tersebut.<sup>[2]</sup>

“Power System Contingency Analysis: A Study of Nigeria’s 330 kV Transmission grid”. Simulasi kontingensi dilakukan pada generator atau saluran transmisi yang terpasang di sistem dengan beberapa kemungkinan yang ada. Data hasil penelitian berisi nilai-nilai *System Line Overload Index* (SLOI) digunakan sebagai penunjuk saluran yang memegang peranan penting pada sistem saat terjadi gangguan.<sup>[3]</sup>

### Keandalan Sistem Tenaga Listrik

Keandalan suatu sistem tenaga listrik ditentukan oleh penilaian kecukupan (*adequacy assessment*) dan penilaian keamanan (*security assesment*). Penilaian kecukupan berkaitan dengan kemampuan sistem untuk memasok energi listrik ke pelanggan yang memenuhi persyaratan dengan cara yang memuaskan. Penilaian keamanan berkaitan dengan kemampuan sistem tenaga listrik untuk tetap mampu bertahan akibat adanya gangguan yang mendadak seperti hubung singkat atau hilangnya elemen sistem yang tak dapat diantisipasi. Keandalan dan keamanan sistem tenaga listrik dapat dicapai dengan melakukan operasi sistem yang toleran terhadap keluarnya salah satu elemen sistem (*single outage*) ataupun keluarnya lebih dari satu elemen sistem (*multiple outage*). Artinya, dengan keluarnya salah satu elemen sistem (atau lebih) seharusnya tidak menyebabkan keluarnya elemen sistem secara bertingkat (*cascading outage*) yang mengakibatkan pemadaman sebagian atau pemadaman total.

### Kontingensi

Kontingensi adalah suatu kejadian yang disebabkan oleh kegagalan atau pelepasan dari satu atau lebih generator atau transmisi (lepasnya salah satu elemen). Gangguan yang terjadi pada sistem dapat menimbulkan perubahan aliran daya pada sistem tenaga listrik. Perubahan daya yang terjadi berbeda-beda tergantung letak titik gangguan. Saat terjadi perubahan aliran daya, terjadi perubahan kuat arus pada saluran dan perubahan tegangan pada bus. Oleh karena itu, diperlukan analisis untuk menguji bus dan saluran yang paling kritis terhadap gangguan. Untuk mengevaluasi unjuk kerja dan keandalan sistem tenaga listrik dapat dilakukan dengan menggunakan analisis kontingensi. Analisis kontingensi adalah perhitungan yang digunakan untuk mengevaluasi pengaruh gangguan terhadap kelayakan perubahan tegangan bus dan aliran daya saluran, dengan membandingkan aliran daya dalam kondisi normal dengan dalam kondisi kontingensi.

### Pembagian Analisis Kontingensi

Analisis kontingensi tunggal (*single contingency*) merupakan analisis kontingensi setelah terputusnya aliran listrik (*outage*) pada salah satu bagian sistem, artinya tidak terjadi dua pemutusan secara bersamaan. Pemutusan dapat terjadi karena salah satu saluran atau transformator lepas dari sistem, generator lepas, atau terjadi pergeseran pembangkitan.

Analisis multi kontingensi (*multiple contingency*) merupakan apabila terjadi dua kontingensi tunggal berturut-turut atau simultan, perhitungan perubahan arus yang mengalir melalui setiap saluran dapat dilakukan dengan mengkombinasikan faktor-faktor distribusi dari kontingensi tunggal yang sudah dihitung lebih dahulu pada studi kontingensi tunggal.

### Seleksi Kontingensi

Untuk melakukan pengelompokan saluran maka diperlukan suatu parameter yang dapat dipakai menghitung seberapa parah pengaruh saluran tersebut pada sistem tenaga, performansi indeks daya  $PI_P$  dapat memenuhi kebutuhan ini.

Definisi performansi indeks daya  $PI_P$  adalah sebagai berikut :

$$PI_P = \frac{P}{P_{Max}} \quad (1)$$

dimana:

$PI_P$  = performansi indeks daya

P = daya yang mengalir pada saluran

$P_{max}$  = kapasitas maksimum daya pada saluran

Bila nilai  $PI_P$  lebih dari 1 maka nilai ini dikatakan *overload* dan bila dibawah 1 maka saluran tersebut baik-

baik saja, semakin besar nilai  $PI_p$  semakin jelek kondisi dari suatu sistem tenaga listrik.

Performansi indeks tegangan pada bus digunakan untuk identifikasi pelanggaran batasan (tegangan lebih), yang terjadi pada bus.

Persamaan performansi indeks tegangan :

$$PI_V = \sum_{i=1}^{N_{pq}} \left[ \frac{2 \cdot (V_i - V_{i,nom})}{V_{i,max} - V_{i,min}} \right]^2 \quad (2)$$

dimana:

- $PI_V$  = performansi indeks tegangan pada bus
- $V_i$  = tegangan bus i setelah terjadi kontingensi (N-1), kV
- $V_{i,min}$  = batas tegangan minimum
- $V_{i,max}$  = batas tegangan maksimum
- $V_{i,nom}$  = rata-rata dari  $V_{i,max}$  dan  $V_{i,min}$
- $N_{pq}$  = jumlah bus beban

Jumlah nilai performansi indeks daya dan nilai performansi indeks tegangan pada saluran transmisi dengan persamaan dibawah:

$$PI = PI_V + PI_p$$

dimana:

- PI = performansi indeks
- $PI_V$  = performansi indeks tegangan
- $PI_p$  = performansi indeks daya

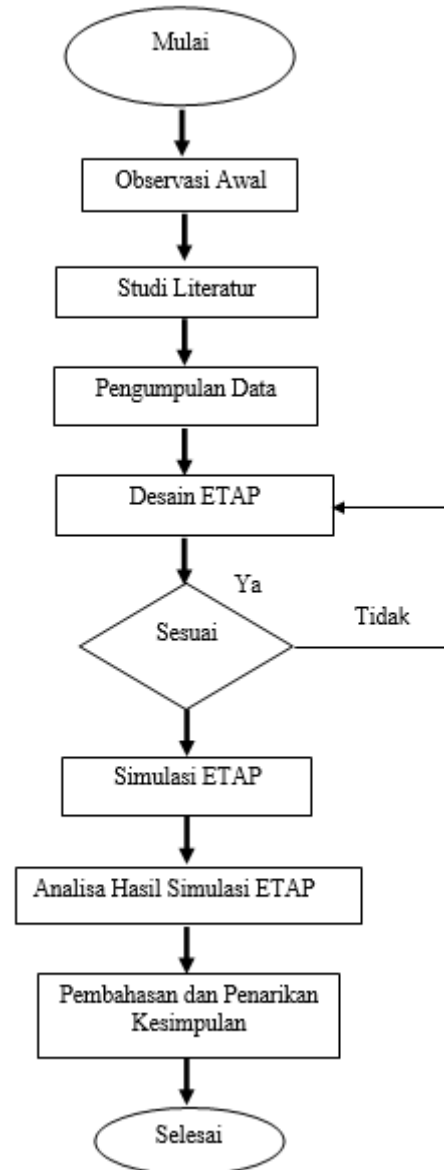
Setelah nilai performansi indeks diperoleh maka dibuat sebuah daftar peringkat dimana saluran yang memiliki nilai PI tertinggi berada di peringkat pertama dan saluran yang memiliki nilai PI terendah berada di peringkat terakhir. Untuk melihat bagaimana kondisi sistem tenaga listrik setelah terjadi kontingensi (N-1) pada salah satu elemen sistemnya maka secara umum digunakan nilai performansi indeks (PI) tersebut. Nilai performansi indeks ini akan berubah-ubah sesuai dengan kondisi pembebanan. Semakin besar nilai PI yang dihasilkan maka kondisi sistem tenaga listrik akan semakin buruk (tidak andal dan tidak aman).

### Proses Kerja Pemakaian Sendiri PLTU Ombilin

Pada waktu unit start up, catu daya pemakaian sendiri diambil dari sistem 150 kV melewati SST dan diturunkan menjadi 6,3 kV, lewat 6 kV *station board* disalurkan ke *bus duct* A (memakai SB A/B atau SUB A/B) dan selanjutnya disalurkan ke alat-alat bantu tegangan 6 kV, dan alat-alat bantu tegangan 380/220 V melalui 380/220 V MCC (alat bantu station maupun alat bantu unit). Setelah output generator lebih dari 10 % maka alat bantu unit disuplai dari output generator lewat UAT (*breaker* 6 kV UAT A/B *close* dan *breaker* SUB A/B *open* pada waktu yang bersamaan) dan beban station tetap disuplai dari SST. Beban awal atau kebutuhan awal pemakaian sendiri dayanya dipasok langsung dari transformator. Untuk kebutuhan beban low voltage digunakan transformator tenaga bantu untuk

menurunkan tegangan menjadi 380 V yaitu PS (Pemakaian Sendiri). Beban medium voltage yang disuplai langsung oleh UAT adalah motor-motor 6 kV yang berada di unit bus 6 kV, sementara beban low voltage yang disuplai oleh UAT adalah MCC, peralatan emergency, dan ESB yang berada di unit bus 380 V.

### METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 3.1 Diagram flowchart

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Skenario 1

Dilakukan simulasi kontingensi dengan kondisi normal pada sistem pemakaian sendiri PLTU Ombilin yaitu dengan kondisi generator dan sistem beroperasi dengan normal dan SST (*Service Station Transformer*) dengan keadaan tidak beroperasi, bertujuan untuk melihat bagaimana profil tegangan sistem pemakaian sendiri PLTU Ombilin saat disimulasikan pada *Software* Etap 12.6.

Dari hasil simulasi diperoleh :

$PI_P$  (Performance index daya):

$$PI_P = 0,473$$

$PI_V$  (Performance index tegangan) :

$$PI_V = 2,6776$$

Maka untuk PI Performance index:

$$PI = 2,6776 + 0,473$$

$$PI = 3,1506$$

### Skenario 2

Melakukan simulasi kontingensi dengan skenario, yaitu kondisi generator dan SST (*Service Station Transformer*) dalam keadaan tidak beroperasi. Untuk tegangan beban pemakaian sendiri PLTU Ombilin langsung dari sistem melalui trafo GT (*generator transformer*). Tujuan skenario 2 ini, untuk melihat profil tegangan sistem pemakaian sendiri PLTU Ombilin ketika saat generator tidak beroperasi

Dari hasil simulasi diperoleh :

$PI_P$  (Performance index daya):

$$PI_P = 0,475$$

$PI_V$  (Performance index tegangan):

$$PI_V = 3,9036$$

Maka untuk PI Performance index:

$$PI = 3,9036 + 0,475$$

$$PI = 4,3786$$

### Skenario 3

Melakukan simulasi kontingensi dengan skenario yaitu kondisi generator, trafo GT (*generator transformer*) dan trafo UAT (*Unit Auxilliary Transformer*) dalam keadaan tidak beroperasi kemudian mengoperasikan trafo SST (*Service Station Transformer*). Bertujuan untuk melihat profil tegangan sistem pemakaian sendiri PLTU Ombilin saat unit PLTU Ombilin dalam keadaan stop dan untuk tegangan langsung dari sistem melalui trafo SST (*Service Station Transformer*).

Dari hasil simulasi diperoleh :

$PI_P$  (Performance index Daya):

$$PI_P = 0,376$$

$PI_V$  (Performance index tegangan) :

$$PI_V = 2,1155$$

Maka untuk PI Performance index:

$$PI = 2,1155 + 0,376$$

$$PI = 2,4915$$

### Skenario 4

Melakukan simulasi kontingensi dengan skenario yaitu kondisi generator dan trafo UAT (*Unit Auxilliary Transformer*) dalam keadaan beroperasi untuk kondisi sistem dalam keadaan *black out* dimana untuk kondisi trafo GT (*generator transformer*) dan SST (*Service Station Transformer*) dalam keadaan tidak beroperasi. Bertujuan untuk melihat profil tegangan sistem

pemakaian sendiri PLTU Ombilin saat ada gangguan di sistem *black out* dan generator hanya mensuplay untuk pemakaian sendiri PLTU Ombilin.

Dari hasil simulasi diperoleh :

$PI_P$  (Performance index Daya):

$$PI_P = 0,475$$

$PI_V$  (Performance index tegangan) :

$$PI_V = 2,6776$$

Maka untuk PI Performance index:

$$PI = 2,6776 + 0,475$$

$$PI = 3,1526$$

### Skenario 5

Melakukan simulasi kontingensi dengan skenario yaitu kondisi sistem dalam keadaan *black out*. Untuk kondisi generator, trafo SST (*Service Station Transformer*) dan untuk trafo UAT dalam keadaan beroperasi. Untuk trafo UAT (*Unit Auxilliary Transformer*) dan GT (*generator transformer*) dalam keadaan tidak beroperasi. Bertujuan untuk mengetahui profil tegangan sistem pemakaian sendiri PLTU Ombilin saat ada gangguan pada trafo UAT (*Unit Auxilliary Transformer*) yang mana trafo UAT sebagai pensuplay untuk pemakaian sendiri. Untuk tegangan pemakaian sendiri di lakukan melalui sistem melalui trafo SST (*Service Station Transformer*).

Dari hasil simulasi diperoleh hasil :

$PI_P$  (Performance index Daya):

$$PI_P = 0,392$$

$PI_V$  (Performance index tegangan) :

$$PI_V = 3,1748$$

Maka untuk PI Performance index:

$$PI = 3,1748 + 0,392$$

$$PI = 3,5446$$

### Pembahasan

Dari hasil perhitungan  $PI_P$  (Performance index daya),  $PI_V$  (Performance index tegangan) dan Performance Index (PI), dibuat ranking dari hasil lima skenario simulasi kontingensi yang telah dilakukan.

1). Ranking  $PI_P$  (Performance index daya)

Tabel 4.1. Ranking  $PI_P$  (Performance Index Daya)

Rank	Skenario	$PI_P$
1	2	0,475
2	4	0,475
3	1	0,473
4	5	0,392
5	3	0,376

Dari tabel 4.1. diketahui nilai  $PI_P$  (Performance Index daya) sistem pemakaian sendiri PLTU Ombilin dari nilai tertinggi sampai terendah. Berdasarkan hasil Performance index daya tertinggi terjadi pada skenario 2

dan 4 yang memiliki nilai *Performance index* daya sebesar 0,475 dan hasil *Performance index* daya terendah terjadi pada skenario 3 dengan nilai *Performance index* daya sebesar 0,376.

2). Ranking  $PI_V$  (*Performance index* tegangan)

Tabel 4.2. Ranking  $PI_V$  (*Performance Index* tegangan)

Rank	Skenario	$PI_V$
1	2	3,9036
2	5	3,1748
3	4	2,6776
4	1	2,6776
5	3	2,1155

Dari tabel 4.2. dapat diketahui nilai  $PI_V$  (*Performance index* tegangan) sistem pemakaian sendiri PLTU Ombilin dari nilai tertinggi sampai terendah. Berdasarkan hasil *Performance index* tegangan tertinggi terjadi pada skenario 2 yang memiliki nilai *Performance index* tegangan sebesar 3,9036 dan hasil *Performance index* tegangan terendah terjadi pada skenario 3 yang memiliki nilai *Performance index* tegangan sebesar 2,1155.

3). Rangking PI (*Performance Index*)

Tabel 4.3. Ranking (PI) *Performance Index*

Rank	Skenario	PI
1	2	4,378
2	5	3,5446
3	4	3,1526
4	1	3,1506
5	3	2,4915

Dari tabel 4.3. dapat diketahui nilai (PI) *Performance Index* sistem pemakaian sendiri PLTU Ombilin, yang di dapat dari hasil penjumlahan *Performance index* daya dengan *Performance index* tegangan di dapat hasil dari nilai tertinggi sampai terendah. Untuk nilai *Performance index* tertinggi terjadi pada skenario 2, dengan *Performance index* sebesar 4.378 dan untuk nilai *Performance index* terendah terjadi pada skenario 3, dengan *Performance index* sebesar 2.4915. Untuk 5 skenario yang telah di lakukan berdasarkan (SPLN T6.001: 2013 Tegangan Standar) untuk sistem pemakaian sendiri PLTU Ombilin masih dalam batas aman saat terjadi kontingensi.. Dimana nilai tegangan yang diperbolehkan pada pengoperasian sistem tenaga listrik maksimum +10% dari tegangan nominal dan batas minimum sebesar -10% dari tegangan nominal, maka batasan paling tinggi 6,6 kV dan paling rendah 5,4 kV.

**SIMPULAN**

1. Setelah dilakukan lima kali simulasi (skenario) maka didapatkan tegangan paling tinggi pada skenario-3 yaitu sebesar 6,18 kV dengan PI (*Performance Index*) 2.4915 dan tegangan paling rendah pada skenario-4 yaitu sebesar 6,13 kV dengan PI (*Performance Index*) 3.1526.
2. Dari nilai tegangan tertinggi dan terendah diatas berdasarkan standar tegangan yang dipersyaratkan yaitu nilai tegangan yang diperbolehkan pada pengoperasian sistem tenaga listrik maksimum +10% dari tegangan nominal dan batas minimum sebesar -10% dari tegangan nominal, maka batasan paling tinggi 6,6 kV dan paling rendah 5,4 kV (SPLN T6.001: 2013 Tegangan Standar). Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan PLTU Ombilin masih dalam batas normal saat terjadi kontingensi.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] P. R. Bijwe, D. P. Kothari, and S. M. Kelapure, “An Efficient Approach for Contingency Ranking based on Voltage Stability,” Int. J. Electr. Power Energy Syst., vol. 26, no. 2, pp. 143–149, 2004.
- [2] N. Raj and R. J. Gupta, “Contingency Analysis of 5 Bus Sub-Station System: A Case Study,” Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol., vol. 5, no. 9, pp. 15947–15952, 2016.
- [3] C J. Nnonyelu, B. O. Anyaka & T. C. Madueme, “Power System Contingency Analysis: A Study of Nigeria’s 330 KV Transmission Grid”, in *Proceedings of the 4th Electrical Engineering National Conference on Energy Sources for Power Generation*, Nsukka, pp. 248 -256, July 21 – 22, 2013.
- [4] A. J. Wood, B. F. Wollenberg, and G. B. Sheble, *Power Generation, Operation and Control*, 3rd ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2013.
- [5] Indra Syahputa, Mahdi Syukri, & Rakhmad Syafutra Lubis, *Studi Analisis Kontingensi pada Jaringan Interkoneksi 150 kV Sub Sistem*. Jurnal Online Teknik Elektro, Vol.2 No.4.,2017
- [6] Febry Johan Palasworo, Anang Widiatoro. Analisis Kontingensi Saluran Tranmisi Pada Jaringan 150 kV Surabaya Selatan. Tersedia <http://journal.um-surabaya.ac.id/>. Diakses 18 November 2021.
- [7] D. Tri and A. Sari, “Analisis Kontingensi Sistem Tenaga Listrik di PT PLN ( Persero ) P3B Jawa Bali APB Jawa Barat,” Pros. Semin. Nas. Tek. Elektro Inform., pp. 265–310, 2015.
- [8] Alsthom, Gec. 1995. Motor. PT.PLN (Persero) Pembangunan Ombilin.
- [9] Marsudi, D. (2016). Operasi Sistem Tenaga Listrik Edisi 3. Yogyakarta: Graha Ilmu .
- [10] Pusat Pendidikan dan Pelatihan.2013. Pengoperasian PLTU. Suralaya : PT.PLN (Persero).