

# ANALISIS RUGI-RUGI DAYA DAN JATUH TEGANGAN PADA SISTEM DISTRIBUSI PT. PERTAMINA HULU INDONESIA REGIONAL 3 ZONA 10 TARAKAN FIELD

Patria Julianto<sup>1</sup>, Nur Fadila<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Universitas Borneo Tarakan, Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

<sup>1</sup>patria@borneo.ac.id  
<sup>2</sup>nurfadila.dl25@gmail.com

**Abstract**—To determine the condition of an electrical power system, power flow simulations are commonly conducted. Through power flow analysis, various parameters within the electrical power system, including power losses and voltage drops, can be identified. This study utilizes ETAP 19.0.1 software to simulate the electrical distribution system at PT. Pertamina Hulu Indonesia Regional 3 Zone 10 Tarakan Field. The simulation results indicate that during daytime load conditions, the total active and reactive power losses are 49 kW and 50 kVAr, respectively, whereas, during nighttime load conditions, the values are 47 kW and 54 kVAr. The highest voltage occurs at bus f11b to bus f11c at 13.69 kV (13.71%), while the lowest voltage is recorded at bus 2 to the night bus at 10.09 kV (10.02%). The lowest voltage drop is found at station 8 from bus station 7 to bus station 8 at 0.09 kV (0.07%). Based on the analysis results, the power losses and voltage drops remain within the permissible tolerance limits.

**Keywords**—Distribution system, power losses, voltage drop, ETAP

**Intisari**—Untuk mengetahui kondisi suatu sistem tenaga listrik, umumnya dilakukan simulasi aliran daya. Melalui aliran daya dapat diketahui parameter-parameter dalam sistem tenaga listrik, termasuk rugi-rugi daya dan jatuh tegangan. Penelitian ini menggunakan perangkat lunak ETAP 19.0.1 untuk mensimulasikan sistem distribusi listrik di PT. Pertamina Hulu Indonesia Regional 3 Zona 10 Tarakan Field. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada beban siang, total rugi-rugi daya aktif dan reaktif sebesar 49 kW dan 50 kVAr, sedangkan pada beban malam sebesar 47 kW dan 54 kVAr. Tegangan terbesar terjadi pada bus f11b ke bus f11c sebesar 13,69 kV (13,71%) dan tegangan terendah terjadi pada bus 2 ke bus malam sebesar 10,09 kV (10,02%). Jatuh tegangan terendah terdapat di stasiun 8 dari bus stasiun 7 ke bus stasiun 8 sebesar 0,09 kV (0,07%). Berdasarkan hasil analisa, nilai rugi-rugi daya dan jatuh tegangan masih dalam batas toleransi yang diizinkan.

**Kata Kunci**—Sistem distribusi, rugi-rugi daya, jatuh tegangan, ETAP

## I. PENDAHULUAN

Listrik merupakan kebutuhan dasar yang esensial bagi kehidupan manusia saat ini. Seiring dengan meningkatnya aktivitas di berbagai sektor (mulai dari rumah tangga, sosial, industri hingga pemerintahan), kebutuhan pasokan listrik yang andal, terjangkau, dan berkualitas juga semakin mendesak. Agar kebutuhan ini terpenuhi, distribusi energi listrik harus terjaga kontinuitasnya,

dengan kualitas yang mendukung efisiensi dan keandalan sistem.

Perkembangan teknologi di berbagai sektor menuntut penyediaan listrik yang optimal melalui pasokan yang memadai dan sistem distribusi yang berkualitas. Hal ini menjadi tantangan tersendiri bagi penyedia tenaga listrik untuk terus meningkatkan kualitas pelayanan dan kontinuitas pasokan energi kepada konsumen. Salah satu indikator kualitas pelayanan energi listrik adalah nilai rugi-rugi daya dan jatuh tegangan. Semakin kecil nilai kedua parameter tersebut, maka semakin baik pula kualitas sistem tenaga listrik. Nilai rugi-rugi daya dan jatuh tegangan ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti jenis dan panjang penghantar, tipe jaringan distribusi, kapasitas trafo, faktor daya, serta besaran daya terpasang dan intensitas penggunaan listrik di titik beban. Penelitian pada [1] menekankan bahwa optimasi jaringan distribusi juga harus mempertimbangkan aspek keamanan dan efisiensi operasional untuk menjamin stabilitas sistem tenaga listrik.

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengkaji analisis rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada sistem distribusi listrik. Sebagai contoh, penelitian di [2] menganalisis rugi-rugi daya pada jaringan distribusi 20 kV di Kabupaten Kepulauan Sangehe dan menemukan bahwa panjang penghantar serta jenis kawat memiliki pengaruh signifikan terhadap rugi daya. Sementara itu, penelitian di [3] menggunakan ETAP untuk menganalisis rugi daya pada jaringan distribusi penyulang Ahuru dan menyimpulkan bahwa simulasi tersebut dapat dijadikan dasar perbaikan sistem distribusi agar lebih efisien. Penelitian lain di [4] membandingkan perhitungan rugi daya secara manual dan dengan ETAP pada jaringan distribusi Penyulang Jentak di GI Punagaya, yang menunjukkan bahwa pergantian konduktor dapat secara signifikan mengurangi rugi daya. Selain itu, studi di [5] mengenai sistem kelistrikan PT. Pertamina Ledok menekankan pentingnya analisis aliran daya dalam meningkatkan keandalan sistem distribusi listrik. Penelitian tambahan dalam [6] juga menyoroti peran penting pemeliharaan berkala pada infrastruktur listrik dalam mengurangi rugi-rugi energi dan menjaga kestabilan sistem distribusi secara keseluruhan.

PT. Pertamina Hulu Indonesia Regional 3 Zona 10 Tarakan Field memiliki sejumlah peralatan listrik untuk mendukung proses produksi dan kebutuhan operasional lainnya dengan daya listrik yang cukup besar. Mengingat rugi-rugi daya dan jatuh tegangan merupakan fenomena

yang tidak dapat dihindari, penting untuk mengetahui apakah nilai-nilai tersebut masih berada dalam batas yang diizinkan atau telah melampaui standar yang ditetapkan. Selain itu, evaluasi secara berkala terhadap sistem distribusi juga menjadi kunci dalam mendeteksi potensi masalah serta mengoptimalkan performa jaringan listrik. Hal ini sejalan dengan temuan beberapa penelitian terbaru yang menyarankan integrasi sistem monitoring cerdas untuk meningkatkan respon dan pemeliharaan sistem distribusi secara real time [6]. Sedangkan beberapa penelitian telah dilakukan sebelumnya untuk mereduksi rugi-rugi daya aktif dan meningkatkan nilai tegangan pada sistem distribusi dengan menggunakan beberapa metode seperti rekonfigurasi jaringan pada [7] dan [8] dan dengan menggunakan kapasitor [9] dan [10].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada sistem tenaga listrik, khususnya pada sistem distribusi di PT. Pertamina Hulu Indonesia Regional 3 Zona 10 Tarakan Field. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang komprehensif mengenai performa sistem distribusi saat ini serta rekomendasi perbaikan yang dapat meningkatkan efisiensi dan keandalan pasokan listrik.

## II. LANDASAN TEORI

### A. Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi merupakan bagian integral dari sistem tenaga listrik yang bertugas menyalurkan energi dari pembangkit hingga ke konsumen akhir. Perannya sangat penting untuk memastikan pasokan listrik yang andal, efisien, dan memenuhi standar kualitas. Secara umum, jaringan distribusi dapat dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu jaringan primer dan jaringan sekunder.

Jaringan primer, atau yang dikenal sebagai jaringan tegangan menengah (JTM), menyalurkan listrik dengan tegangan relatif tinggi, seperti 6 kV, 12 kV, atau 20 kV. Tegangan yang tinggi ini digunakan untuk mengoptimalkan transfer daya jarak jauh dan meminimalkan rugi-rugi daya selama proses transmisi. Di sisi lain, jaringan sekunder, atau jaringan tegangan rendah (JTR), mendistribusikan listrik dengan tegangan yang lebih rendah, yaitu 220 V dan 380 V, yang umumnya digunakan untuk keperluan konsumsi rumah tangga dan industri kecil [11].

### B. Rugi-rugi Daya

Rugi-rugi daya adalah perbedaan antara daya yang dikirim dari sumber dengan daya yang diterima oleh beban (konsumen) [12]. Dalam proses penyaluran energi listrik melalui jaringan distribusi, terjadi penurunan nilai daya karena adanya kehilangan energi di sepanjang saluran, yang disebabkan oleh arus yang mengalir melalui konduktor. Arus ini menghasilkan efek pemanasan pada penghantar akibat sifat resistif material, sehingga sebagian energi listrik diubah menjadi energi panas dan tidak dapat dimanfaatkan oleh konsumen [13].

Secara umum, rugi-rugi daya dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori utama, yaitu rugi-rugi teknis dan rugi-rugi non-teknis. Rugi-rugi teknis muncul akibat karakteristik fisik material dan peralatan jaringan, seperti

resistansi penghantar, induktansi, dan reaktansi komponen-komponen sistem tenaga listrik. Faktor-faktor tersebut merupakan bagian inheren dari desain dan material yang digunakan dalam jaringan distribusi, sehingga pengurangan rugi-rugi teknis memerlukan perbaikan pada aspek teknis seperti pemilihan material penghantar yang berkualitas dan perancangan sistem yang optimal [13].

Di sisi lain, rugi-rugi non-teknis timbul dari faktor-faktor operasional dan administratif, misalnya kesalahan pemasangan, perawatan yang tidak memadai, maupun kehilangan energi akibat pencurian atau pembacaan meter yang tidak akurat. Pengelolaan rugi-rugi non-teknis memerlukan pendekatan manajerial yang baik, termasuk sistem monitoring dan pengawasan yang efektif untuk mengidentifikasi serta mengatasi masalah secepatnya [14]. Persamaan rugi-rugi daya aktif dan reaktif adalah sebagai berikut:

$$P_{losses} = 3 \times I^2 \times R \times l \quad (1)$$

$$Q_{losses} = 3 \times I^2 \times X \times l \quad (2)$$

Keterangan :

$P_{losses}$  : Rugi-rugi Daya Aktif (Watt);

$Q_{losses}$  : Rugi-rugi Daya Reaktif (VAr);

$I$  : Arus (Ampere);

$R$  : Tahanan Rangkaian ( $\Omega$ );

$l$  : Panjang Penghantar (m);

$X$  : Reaktansi Penghantar ( $\Omega$ ).

### C. Jatuh Tegangan

Jatuh tegangan adalah penurunan tegangan yang terjadi pada penghantar selama proses penyaluran energi listrik dari sumber ke beban. Penurunan ini timbul akibat hambatan ( $R$ ) dan reaktansi ( $X$ ) pada konduktor, yang menyebabkan adanya perbedaan antara tegangan pada sisi pengiriman dan sisi penerima [15]. Fenomena ini tidak hanya terjadi pada sisi pelanggan, tetapi juga pada jaringan milik perusahaan listrik, sehingga sangat memengaruhi kualitas energi yang diterima oleh konsumen.

Dalam perancangan sistem distribusi, standar seperti yang tercantum dalam SPLN tegangan dan IEEE Std. 141-1993 menyarankan agar jatuh tegangan di ujung penerima tidak melebihi 10% dari tegangan nominal [13]. Batasan ini penting untuk menjaga agar peralatan listrik di sisi konsumen dapat beroperasi secara optimal tanpa mengalami kerusakan akibat tegangan yang tidak stabil. Untuk mencapai batas tersebut, desain jaringan harus mengakomodasi karakteristik konduktor termasuk nilai  $R$  dan  $X$  serta mempertimbangkan faktor-faktor lain seperti jarak penyaluran dan kondisi lingkungan yang dapat mempengaruhi performa penghantar baik pada saluran transmisi maupun distribusi.

Selain aspek perancangan teknis, implementasi sistem monitoring dan proteksi cerdas juga menjadi solusi strategis untuk mendeteksi serta mengatasi masalah jatuh tegangan secara real time. Teknologi ini memungkinkan identifikasi dini terhadap anomali dalam jaringan, sehingga perbaikan dapat segera dilakukan untuk meminimalkan dampak negatif terhadap distribusi energi [16]. Dengan demikian, pengendalian jatuh tegangan melalui perbaikan desain dan teknologi monitoring

menjadi kunci dalam meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem distribusi listrik.

Persamaan jatuh tegangan pada saluran adalah sebagai berikut:

$$\Delta V = |V_k - V_t| \quad (3)$$

Keterangan :

$\Delta V$  : Jatuh tegangan (Volt);

$V_k$  : Tegangan kirim (Volt);

$V_t$  : Tegangan terima (Volt).

#### D. Studi Aliran Daya

Studi aliran daya merupakan analisis operasional yang sangat penting untuk mengetahui informasi mengenai distribusi dan pergerakan daya dalam sistem tenaga listrik. Analisis ini diperlukan guna mengevaluasi kinerja sistem, baik dari sisi pembebanan maupun pembangkitan, serta memastikan bahwa sistem beroperasi pada kondisi yang optimal. Analisis aliran daya memungkinkan perhitungan parameter-parameter penting seperti tegangan bus, faktor daya penyulang, arus, dan aliran daya pada setiap saluran dalam sistem [12].

Hasil analisis aliran daya tidak hanya memberikan gambaran kondisi operasi sistem secara steady state, tetapi juga menjadi dasar untuk melakukan evaluasi lebih lanjut terhadap stabilitas sistem. Misalnya, apabila terdapat komponen yang tidak terhubung dengan baik atau terdapat ketidaksesuaian antara daya yang tersedia dan daya yang dibutuhkan, kondisi tersebut dapat disimulasikan dalam konteks analisis stabilitas transien dan analisis kontingensi. Proses ini sangat penting untuk mengidentifikasi potensi masalah dan merancang strategi penanganan yang efektif agar sistem tetap handal dan aman [17].

Berbagai metode numerik seperti metode Newton-Raphson dan Gauss-Seidel umum diterapkan dalam studi aliran daya untuk mencapai solusi yang akurat dan efisien. Dengan demikian, load flow analysis tidak hanya berperan sebagai alat diagnostik, tetapi juga sebagai dasar perencanaan pengembangan dan peningkatan sistem tenaga di masa depan, guna mengoptimalkan distribusi energi dan meminimalkan rugi-rugi dalam jaringan [12], [18].

#### E. Perhitungan Aliran Daya

Pada setiap gardu distribusi, perhitungan aliran daya menjadi kunci untuk mengetahui besaran tegangan dan sudut fasanya. Proses ini disebut analisis aliran daya, yang kemudian hasilnya digunakan untuk menentukan besarnya aliran daya aktif (real power) dan daya reaktif (reactive power) pada setiap peralatan transmisi [12]. Parameter utama dalam perhitungan aliran daya meliputi:

- 1) Daya aktif (P), dinyatakan dalam satuan megawatt (MW);
- 2) Daya reaktif (Q), dinyatakan dalam satuan megavolt-ampere reaktif (MVA<sub>r</sub>);
- 3) Besar (magnitude) tegangan (V), dinyatakan dalam kilovolt (kV);
- 4) Sudut fasa tegangan ( $\delta$ ) – dinyatakan dalam radian.

Penentuan kondisi operasi suatu sistem tenaga juga melibatkan analisis sudut fasa ( $\delta$ ) dari setiap mesin. Sudut

fasa ini merupakan parameter penting yang menunjukkan perbedaan antara tegangan pada sisi pengiriman dan sisi penerima, serta dapat dikonversikan antara derajat dan radian sesuai dengan bentuk persamaan yang digunakan. Apabila persamaan aliran daya dapat diselesaikan, diperoleh fungsi waktu dari sudut fasa tersebut. Grafik yang dihasilkan, yang dikenal dengan kurva ayunan (swing curve), menggambarkan dinamika respons mesin terhadap gangguan; analisis ini menunjukkan bahwa meskipun terjadi gangguan, mesin cenderung mempertahankan sinkronisasi dalam sistem [18].

Selain itu, dalam studi aliran daya, bus (titik sambungan pada jaringan) diklasifikasikan berdasarkan parameter yang diketahui dan yang dicari, yaitu:

- 1) Load Bus (bus beban): Diketahui daya aktif (P) dan daya reaktif (Q), sedangkan variabel tegangan (V) dan sudut fasa ( $\delta$ ) merupakan variabel yang harus dihitung.
- 2) Voltage Controlled Bus (bus generator): Diketahui daya aktif (P) dan besaran tegangan (V), sementara daya reaktif (Q) dan sudut fasa ( $\delta$ ) dihitung berdasarkan kondisi sistem.
- 3) Slack Bus/Reference Bus (bus acuan): Besaran tegangan (V) dan sudut fasa ( $\delta$ ) ditetapkan sebagai acuan. Bus ini digunakan untuk menyeimbangkan kelebihan atau kekurangan daya (baik beban maupun rugi jaringan), karena nilai kerugian jaringan baru dapat dihitung setelah perhitungan load flow selesai [12], [19].

Analisis aliran daya dan klasifikasi bus ini merupakan fondasi penting dalam perencanaan dan pengoperasian sistem tenaga listrik. Dengan pemodelan yang tepat, engineer dapat mengidentifikasi potensi masalah dan mengoptimalkan performa sistem, sehingga distribusi energi berjalan dengan efisien dan andal.

Pada setiap gardu distribusi dapat menghitung besaran pada tegangan dan sudut fasanya atau biasa disebut dengan perhitungan aliran daya. Kemudian hasilnya akan digunakan untuk menghitung setiap peralatan transmisi yaitu besarnya aliran daya aktif dan daya reaktif. Adapun parameter dalam perhitungan aliran daya ini yaitu sebagai berikut:

- 1) Daya aktif (*real power*), dengan simbol P dalam satuan MW
- 2) Daya reaktif (*reactive power*), dengan simbol Q dalam satuan MVAR
- 3) Besar (*magnitude*) tegangan, dengan simbol V dalam satuan kV
- 4) Sudut fasa tegangan, dengan *symbol*  $\delta$  dalam satuan Radian

Untuk menentukan sebuah mesin dalam keadaan sistem daya digunakan simbol sudut fasa tegangan ( $\delta$ ) yang terkait dengan derajat dan radian listrik diberbagai bentuk ekuivalen dari persamaan yang dipakai. Ketika persamaan ini mampu diselesaikan, maka didapatkan rumus untuk ( $\delta$ ) sebagai fungsi waktu. Grafik dalam penyelesaian persamaan ini disebut kurva ayunan (*swing curve*) mesin. Meneliti kurva 30 ayunan pada semua mesin dalam sistem akan terlihat bahwa walaupun terjadi gangguan mesin akan tetap seragam. Kemudian ketika acuan atau parameter tersebut diketahui maka Bus dapat diklasifikasikan menjadi 3 bagian yaitu:

- 1) *Load Bus* atau bus beban adalah daya aktif (P), daya reaktif (Q) diketahui, lalu besaran variabel tegangan (V) dan sudut fasa tegangan ( $\delta$ ) yang dicari.
- 2) *Voltage controlled bus* atau bus generator adalah daya aktif (P), besaran tegangan (V) yang diketahui, sedangkan daya reaktif (Q) dan sudut fasa tegangan ( $\delta$ ) yang belum diketahui dan merupakan hasil perhitungan.
- 3) *Slack Bus/Reference Bus/Bus Swing Variabel* yang diketahui adalah besaran tegangan (V) dan sudut fasa ( $\delta$ ) yang menjadi suatu acuan. Bus ini ditentukan pada perhitungan aliran daya untuk mendapatkan kekurangan daya (beban dan kerugian), karena kerugian jaringan tidak dapat diketahui ketika belum menyelesaikan perhitungan. Besaran daya pada setiap Bus dapat dinyatakan dengan persamaan dibawah ini:

$$S_i = S_{Gi} - S_{Bi} - S_{Li} \quad (4)$$

Keterangan :

- $S_i$  : Sumber daya pada bus i (VA)
- $S_{Gi}$  : Sumber daya yang masuk kedalam bus i (VA)
- $S_{Bi}$  : Beban yang keluar dari bus i (VA)
- $S_{Li}$  : Beban Losses (VA)

Jika dalam bentuk yang kompleks persamanya dinyatakan sebagai berikut:

$$P_i = jQ_i(P_{Gi} + jQ_{Gi}) - (P_{Bi} + jQ_{Bi}) - (P_{Li} + jQ_{Li}) \quad (5)$$

### III. METODE PENELITIAN

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan sistematis untuk menganalisis aliran daya pada sistem kelistrikan PT Pertamina Hulu Indonesia Regional 3 Zona 10 Tarakan Field. Tahapan tersebut meliputi:

- 1) Observasi dan Pengumpulan Data
  - a) Melakukan observasi langsung di PT Pertamina Hulu Indonesia Regional 3 Zona 10 Tarakan Field guna memperoleh data teknis yang diperlukan.
  - b) Mengumpulkan data pendukung seperti spesifikasi peralatan listrik, single line diagram, kapasitas pembangkit, dan konfigurasi jaringan distribusi.
- 2) Pemodelan Sistem Kelistrikan
  - a) Menyusun model sistem tenaga listrik berdasarkan single line diagram dan data teknis yang telah dikumpulkan.
  - b) Memverifikasi data dan memastikan keakuratan parameter sistem sebelum dilakukan simulasi.
- 3) Studi Aliran Daya Menggunakan ETAP 19.0.1
  - a) Melakukan simulasi aliran daya dengan menggunakan perangkat lunak ETAP 19.0.1 untuk menganalisis distribusi daya aktif dan reaktif dalam sistem.
  - b) Mengidentifikasi profil tegangan, arus, dan faktor daya pada setiap bus serta menentukan tingkat efisiensi jaringan distribusi.
  - a) Analisis dan Evaluasi Hasil Simulasi Menganalisis hasil simulasi untuk mengiden-

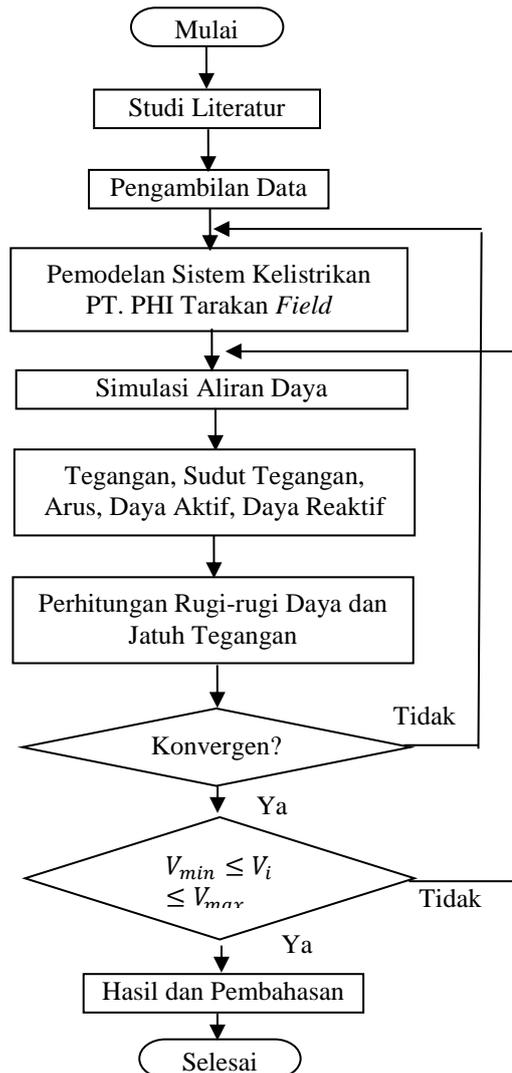
tifikasi potensi rugi-rugi daya dan jatuh tegangan dalam sistem.

- b) Membandingkan hasil simulasi dengan standar kelistrikan yang berlaku untuk menentukan tingkat keandalan sistem.
- c) Menyusun rekomendasi perbaikan atau optimasi guna meningkatkan efisiensi dan stabilitas sistem tenaga listrik.

### IV. DATA SISTEM

#### A. Sistem Tenaga Listrik PT. PHI Tarakan Field

Dalam sistem distribusi tegangan 6.6 kV di PT Pertamina Hulu Indonesia Regional 3 Zona 10 Tarakan Field, terdapat tiga pembangkit tenaga listrik yang menjadi komponen utama dalam penyediaan daya di area tersebut. Dari ketiga pembangkit tersebut, dua unit menggunakan mesin gas sebagai sumber utama energi, sedangkan satu unit lainnya menggunakan mesin diesel. Ketiga pembangkit ini dirancang untuk bekerja secara terkoordinasi guna menjaga stabilitas pasokan daya listrik di kawasan operasional PT Pertamina Hulu Indonesia Regional 3 Zona 10 Tarakan Field. Namun, saat ini hanya dua pembangkit yang beroperasi secara aktif dan kontinu, sementara satu pembangkit lainnya dalam kondisi siaga (standby) untuk digunakan jika diperlukan.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Pembangkit berbasis mesin gas secara aktif menyalurkan daya listrik ke dalam jaringan distribusi. Distribusi daya ini dikelola secara cermat untuk memastikan setiap stasiun penerima mendapatkan pasokan yang optimal. Daya listrik yang dihasilkan oleh sistem tenaga listrik PT. Pertamina Hulu Indonesia Regional 3 Zona 10 Tarakan Field diintegrasikan ke dalam sistem yang lebih besar melalui synchronizing bus. Setelah proses sinkronisasi selesai, listrik kemudian dibagi ke dalam tujuh feeder, yang masing-masing dirancang untuk menyalurkan daya ke berbagai stasiun distribusi.

Setiap feeder memiliki peran spesifik dalam memastikan distribusi daya listrik yang merata dan efisien, dengan mempertimbangkan beban yang dibutuhkan oleh setiap bagian dari fasilitas PT. Pertamina Hulu Indonesia Regional 3 Zona 10 Tarakan Field. Distribusi daya ini tidak hanya difokuskan pada kebutuhan energi di tingkat produksi, tetapi juga mencakup berbagai fasilitas pendukung, seperti pompa industri, sistem penerangan stasiun, penerangan perkantoran, serta alat-alat produksi lainnya yang memerlukan pasokan listrik yang stabil dan andal.

**B. Hasil Simulasi**

Simulasi aliran daya dilakukan untuk menganalisis kinerja sistem distribusi tenaga listrik pada dua skenario beban, yaitu beban siang pukul 11.00 WITA dan beban malam pukul 21.00 WITA. Perbedaan pola konsumsi listrik pada kedua skenario ini bertujuan untuk mengetahui variasi beban terhadap parameter utama sistem, seperti profil tegangan, aliran daya aktif dan reaktif, serta rugi-rugi daya dalam jaringan.

Dengan membandingkan hasil simulasi dari kedua skenario, dapat dilakukan evaluasi terhadap kinerja sistem distribusi tenaga listrik, termasuk identifikasi titik-titik kritis yang mengalami jatuh tegangan berlebihan atau rugi-rugi daya yang signifikan. Hasil analisis ini dapat menjadi dasar dalam perencanaan optimalisasi sistem guna meningkatkan efisiensi serta keandalan pasokan listrik di PT Pertamina Hulu Indonesia Regional 3 Zona 10 Tarakan Field.

Tabel I

Total Pembangkit dan Beban Pada Beban Siang

Daya	kW	kVAr	kVA	%PF
Pembangkit (swing)	450	653	793	56,73
Pembangkit (non-swing)	457	287	540	84,69
Total beban	907	940	1.306	60,43
Total rugi-rugi daya	49	50		

Tabel II

Total Pembangkit Dan Beban Pada Beban Malam

Daya	kW	kVAr	kVA	%PF
Pembangkit (swing)	493	736	886	55,63
Pembangkit (non-Swing)	517	315	605	85,40
Total beban	1.010	1.051	1.457	69,28
Total rugi-rugi daya	47	54		

Berdasarkan simulasi aliran daya, pada tabel I dan II adalah nilai hasil total daya pembangkit, total beban dan

total rugi-rugi daya yang dipakai pada saat siang hari pukul 11.00 WITA dan malam hari pukul 21.00 WITA.

Tabel III  
Hasil Simulasi Aliran Daya (Beban Siang)

No	Keterangan Bus		Daya	
	Dari Bus	Ke Bus	MW	MVA <sub>r</sub>
1.	Bus ptl	Bus 66	-0,049	-0,060
2.	Bus ptl	Bus 69	0,023	0,046
3.	Bus stn 1a	Bus 2	-0,169	-0,152
4.	Bus atn 1a	Bus stn 2a	0,077	0,005
5.	Bus stn 1a	Bus stn 3a	0,072	0,099
6.	Bus stn 1a	Bus 141	0,020	0,048
7.	Bus stn 1b	Bus 39	-0,014	-0,039
8.	Bus stn 1b	Bus 40	0,000	0,000

Tabel IV  
Tegangan dan Sudut Tegangan (Beban Siang)

No	Keterangan Bus		Tegangan (kV)	Sudut Teg. (°)
	Dari Bus	Ke Bus		
1	Bus ptl	Bus 66	0,2222	-0,1
2	Bus stn 1a	Bus 2	6,534	0,1
3	Bus stn 1b	Bus 39	0,3476	3,0
4	Bus stn 2a	Bus stn 1a	6,534	0,1
5	Bus stn 2b	Bus 45	0,4532	-0,4
6	Bus stn 3a	Bus stn 1a	6,534	0,1
7	Bus stn 3b	Bus 70	0,4312	0
8	Bus stn 5a	Bus 2	6,534	0,1

Tabel V  
Jatuh Tegangan (Beban Siang)

No	Saluran	Keterangan Bus		Jatuh Teg. (%)
		Dari Bus	Ke Bus	
1	Kabel stn 1	Bus 2	Bus stn 1a	0,33
2	Kabel stn 2	Bus stn 1a	Bus stn 2a	0,06
3	Kabel stn 3	Bus stn 1a	Bus stn 3a	0,08
4	Kabel stn 5	Bus 2	Bus stn 5	0,37
5	Kabel stn 7	Bus 2	Bus stn 7a	0,20
6	Kabel stn 12	Bus stn 13	Bus stn 12	0,02
7	Kabel ptl	Bus 2	Bus 145	0,03
8	Kabel stn 10	Bus stn 9	Bus stn 10a	0,01

Tabel VI  
Rugi-Rugi Daya Pada Saluran (Beban Siang)

No	Saluran	Keterangan Bus		Rugi-rugi daya	
		Dari Bus	Ke Bus	kW	kVA <sub>R</sub>
1	Kabel stn 1	Bus 2	Bus stn 1a	0,8	0,2
2	Kabel stn 2	Bus stn 1a	Bus stn 2a	0,0	0,0
3	Kabel stn 3	Bus stn 1a	Bus stn 3a	0,1	0,0
4	Kabel stn 5	Bus 2	Bus stn 5	1,4	0,3
5	Kabel stn 7	Bus 2	Bus stn 7a	1,3	0,3
6	Kabel stn 12	Bus stn 13	Bus stn 12	0,0	0,0
7	Kabel ptl	Bus 2	Bus 145	0,0	0,0
8	Kabel stn 5	Bus stn 9	Bus stn 10a	0,0	0,0

Tabel VII  
Aliran Daya (Beban Malam)

No	Keterangan Bus		Daya	
	Dari Bus	Ke Bus	MW	MVAR
1	Bus ptl	Bus 66	-0,049	-0,060
2	Bus ptl	Bus 69	0,023	0,046
3	Bus stn 8a 1	Bus stn 7a	-0,112	-0,121
4	Bus stn 8a 1	Bus 86	0,035	0,098
5	Bus stn 8a 1	Bus stn 9	0,038	0,014
6	Bus stn 8a 1	Bus stn 8 a2	0,038	0,010
7	Bus stn 1a	Bus 2	-0,195	-0,263
8	Bus stn 1a	Bus stn 2a	0,077	0,162

Tabel VIII  
Tegangan dan Sudut Tegangan (Beban Malam)

No	Keterangan Bus		Tegangan (kV)	Sudut teg. (°)
	Dari Bus	Ke Bus		
1	Bus ptl	Bus 66	0,2222	-0,1
2	Bus stn 1a	Bus 2	6,534	0,2
3	Bus stn 1b	Bus 39	0,3344	-1,1
4	Bus stn 2a	Bus stn 1a	6,534	0,3
5	Bus stn 2b	Bus 45	0,4444	0,5
6	Bus stn 3a	Bus stn 1a	6,534	0,2
7	Bus stn 3b	Bus 70	0,4312	0
8	Bus st 5a	Bus 2	6,534	0,2

Tabel IX  
Jatuh Tegangan (Beban Malam)

No	Saluran	Keterangan Bus		Jatuh Teg. (%)
		Dari Bus	Ke Bus	
1	Kabel stn 1	Bus 2	Bus stn 1a	0,42
2	Kabel stn 2	Bus stn 1a	Bus stn 2a	0,09
3	Kabel stn 3	Bus stn 1a	Bus stn 3a	0,08
4	Kabel stn 5	Bus 2	Bus stn 5a	0,42
5	Kabel stn 7	Bus 2	Bus stn 7a	0,21
6	Kabel stn 12	Bus stn 13	Bus stn 12	0,03
7	Kabel ptl	Bus 2	Bus 145	0,03
8	Kabel stn 10	Bus stn 9	Bus stn 10a	0,01

Tabel X  
Rugi-Rugi Daya Pada Saluran (Beban Malam)

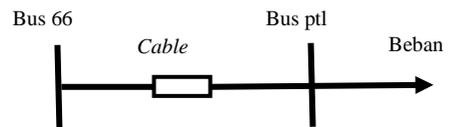
No	Saluran	Keterangan Bus		Rugi-rugi Daya	
		Dari Bus	Ke Bus	kW	kVA R
1	Kabel stn 1	Bus 2	Bus stn 1a	1,8	0,4
2	Kabel stn 2	Bus stn 1a	Bus stn 2a	0,2	0,3
3	Kabel stn 3	Bus stn 1a	Bus stn 3a	0,1	0,0
4	Kabel stn 5	Bus 2	Bus stn 5a	2,0	0,5

No	Saluran	Keterangan Bus		Rugi-rugi Daya	
		Dari Bus	Ke Bus	kW	kVA R
5	Kabel stn 7	Bus 2	Bus stn 7a	1,2	0,3
6	Kabel stn 12	Bus stn 13	Bus stn 12	0,0	0,0
7	Kabel ptl	Bus 2	Bus 145	0,0	0,0
8	Kabel stn 10	Bus stn 9	Bus stn 10a	0,0	0,0

C. Validasi Hasil Simulasi

1) Perhitungan Aliran Daya

Berikut ini merupakan pembuktian validitas simulasi aliran daya menggunakan metode Newton-Raphson, yaitu dengan menganalisis keseimbangan daya total yang masuk dan keluar dari setiap bus. Jika hasil perhitungan menunjukkan bahwa jumlah daya total yang masuk sama dengan daya total yang keluar, atau dengan kata lain selisihnya mendekati nol, maka simulasi dianggap telah berjalan dengan benar dan konvergen. Hal ini menunjukkan bahwa sistem telah memenuhi prinsip konservasi energi serta kesetimbangan daya dalam jaringan.



$$S_{21} - S_{12} - S_{L21} = 0$$

$$(P_{21} + jQ_{21}) - (P_{12} + jQ_{12}) - (P_{L21} + jQ_{21}) = 0$$

$$(49 + j60) - (49 + j60) - (0 + j0) = 0$$

2) Perhitungan Jatuh Tegangan Beban Siang

Berikut ini adalah perhitungan jatuh tegangan pada beban siang di saluran distribusi PT. PHI Tarakan Field:

$$\Delta V = |V_k - V_t|$$

$$\Delta V = |99,7 - 100| = 0,3 \text{ kV}$$

$$V_r = \left| \frac{V_k - V_t}{V_t} \right| \times 100\%$$

$$V_r = \left| \frac{99,7 - 100}{100} \right| \times 100\% = 0,3\%$$

Hasil di atas menunjukkan perhitungan jatuh tegangan. Perhitungan serupa dapat diterapkan pada bagian lain dalam sistem distribusi dengan metode yang sama. Hasil lengkap dari perhitungan jatuh tegangan untuk seluruh bagian dapat dilihat pada tabel XI.

Tabel XI  
Perhitungan Jatuh Tegangan Pada Beban Siang

No	Saluran	Keterangan Bus		Jatuh tegangan			
		Dari Bus	Ke Bus	$\Delta V$		$V_r$	
				$V_k$ (kV)	$V_t$ (kV)	K v	%
1	K stn 1	B 2	B s 1a	99,7	100	0,3	0,3
2	K stn 2	B s1a	B s 2a	99,7	99,6	0,1	0,1

No	Saluran	Keterangan Bus		Jatuh tegangan			
		Dari Bus	Ke Bus	ΔV		V <sub>r</sub>	
				V <sub>k</sub> (kV)	V <sub>t</sub> (kV)	K <sub>v</sub>	%
3	K stn 3	B s 1a	B s 3a	99,7	99,6	0,1	0,1
4	K stn 5	B 2	B s 5	99,6	100	0,4	0,4
5	K stn 7	B 2	B s 7a	99,8	100	0,2	0,2
6	K stn 12	B s 13	B s 12	99,8	99,9	0,1	0,1
7	K ptl	B 2	B 145	100	100	0	0
8	K stn 10	B s 9	B s 10a	99,7	99,7	0	0

3) Perhitungan Rugi-rugi Daya Pada Beban Siang

Berikut ini adalah perhitungan rugi-rugi daya pada beban siang di saluran distribusi PT. Pertamina Hulu Indonesia Regional 3 Zona 10 Tarakan Field menggunakan Persamaan (1) dan (2) sebagai berikut:

$$P_{Losses} = 3 \times 19,9^2 \times 0,47 \times 1,5$$

$$P_{Losses} = 0,841775 \text{ kW}$$

$$Q_{Losses} = 3 \times 19,9^2 \times 0,108 \times 1,5$$

$$Q_{Losses} = 0,193429 \text{ kVAR}$$

Perhitungan di atas menunjukkan rugi-rugi daya pada kabel Stasiun 1, dengan hasil P = 0,841775 kW dan Q = 0,193429 kVAR. Metode yang sama digunakan untuk perhitungan pada bagian lainnya, dan hasil lengkapnya dapat dilihat pada tabel XII.

Tabel XII  
Perhitungan Rugi-Rugi Daya Pada Beban Siang

No	Saluran	Keterangan Bus		Hasil Perhitungan	
		Dari Bus	Ke Bus	kW	Kvar
1	Kabel stn 1	Bus 2	Bus stn 1a	0,84	0,19
2	Kabel stn 2	Bus stn 1a	Bus stn 2a	0,04	0,01
3	Kabel stn 3	Bus stn 1a	Bus stn 3a	0,12	0,02
4	Kabel stn 5	Bus 2	Bus stn 5	1,38	0,31
5	Kabel stn 7	Bus 2	Bus stn 7a	1,28	0,29
6	Kabel stn 12	Bus stn 13	Bus stn 12	0,0	0,0
7	Kabel ptl	Bus 2	Bus 145	0,03	0,0
8	Kabel stn 5	Bus stn 9	Bus stn 10a	0,02	0,01

4) Perhitungan Jatuh Tegangan Beban Malam

Berikut ini adalah perhitungan jatuh tegangan pada beban malam di saluran distribusi PT. PHI Tarakan Field:

$$\Delta V = |99,6 - 100| = 0,4$$

$$V_r = \left| \frac{99,6 - 100}{100} \right| \times 100\% = 0,4\%$$

Hasil di atas menunjukkan perhitungan jatuh tegangan. Perhitungan serupa dapat diterapkan pada bagian lain dalam sistem distribusi dengan metode yang sama. Hasil lengkap dari perhitungan jatuh tegangan untuk seluruh bagian dapat dilihat pada tabel XIII.

Tabel XIII  
Perhitungan Jatuh Tegangan Beban Malam

No	Saluran	Keterangan Bus		Jatuh Tegangan			
		Dari Bus	Ke Bus	ΔV		V <sub>t</sub>	
				V <sub>k</sub> (kV)	V <sub>t</sub> (kV)	k <sub>v</sub>	%
1	K stn 1	B 2	B s 1a	99,6	100	0,4	0,4
2	K stn 2	B s 1a	B s 2a	99,6	99,5	0,1	0,1
3	K stn 3	B s 1a	B s 3a	99,6	99,5	0,1	0,1
4	K stn 5	B 2	B s 5a	99,6	100	0,4	0,4
5	K stn 7	B 2	B s 7a	99,8	100	0,2	0,2
6	K stn 12	B s 13	B s 12	99,8	99,8	0	0
7	K ptl	B 2	B 145	100	100	0	0
8	K stn 10	B s 9	B s 10a	99,7	99,7	0	0

5) Perhitungan Rugi-rugi Daya Beban Malam

Berikut ini adalah perhitungan rugi-rugi daya pada beban malam saluran distribusi PT. Pertamina Hulu Indonesia Regional 3 Zona 10 Tarakan Field menggunakan Persamaan (1) dan (2) sebagai berikut:

$$P_{Losses} = 3 \times 28,77^2 \times 0,47 \times 1,5$$

$$P_{Losses} = 1,750613 \text{ kW}$$

$$Q_{Losses} = 3 \times 28,77^2 \times 0,108 \times 1,5$$

$$Q_{Losses} = 0,402268 \text{ kVAR}$$

Perhitungan di atas menunjukkan rugi-rugi daya pada kabel Stasiun 1, dengan hasil P = 1,750613 kW dan Q = 0,402268 kVAR. Metode yang sama digunakan untuk perhitungan pada bagian lainnya, dan hasil lengkapnya dapat dilihat pada tabel XIV.

Tabel XIV  
Perhitungan Rugi-Rugi Daya Beban Malam

No	Saluran	Keterangan Bus		Hasil Perhitungan	
		Dari Bus	Ke Bus	kW	Kvar
1	Kabel stn 1	Bus 2	Bus stn 1a	1,75	0,40
2	Kabel stn 2	Bus stn 1a	Bus stn 2a	0,24	0,05
3	Kabel stn 3	Bus stn 1a	Bus stn 3a	0,08	0,01
4	Kabel stn 5	Bus 2	Bus stn 5a	1,96	0,45
5	Kabel stn 7	Bus 2	Bus stn 7a	1,23	0,28
6	Kabel stn 12	Bus stn 13	Bus stn 12	0,01	0,0

No	Saluran	Keterangan Bus		Hasil Perhitungan	
		Dari Bus	Ke Bus	kW	Kvar
7	Kabel ptl	Bus 2	Bus 145	0,03	0,0
8	Kabel stn 10	Bus stn 9	Bus stn 10a	0,0	0,0

D. Perbandingan Hasil Simulasi dan Perhitungan  
 1) Perbandingan Jatuh Tegangan Beban Siang

Tabel XV  
 Perbandingan Jatuh Tegangan Beban Siang

No	Saluran	ETAP		Perhitungan		Selisih
		kV	%	kV	%	
1	Kabel stn 1	0,3	0,33	0,3	0,3	0
2	Kabel stn 2	0,09	0,06	0,1	0,1	0,01
3	Kabel stn 3	0,09	0,08	0,1	0,1	0,01
4	Kabel stn 5	0,4	0,37	0,4	0,4	0
5	Kabel stn 7	0,2	0,20	0,2	0,2	0
6	Kabel stn 12	0,09	0,02	0,1	0,1	0,01
7	Kabel ptl	0	0,03	0	0	0
8	Kabel stn 10	0	0,01	0	0	0

2) Perbandingan Rugi-rugi Daya Beban Siang

Tabel XVI  
 Perbandingan Rugi-Rugi Daya Beban Siang

No	Saluran	Rugi-rugi daya				Selisih	
		Hasil Simulasi		Hasil Perhitungan		%	
		kW	kV AR	kW	kVAR	kW	kV AR
1	K s 1	0,8	0,2	0,8	0,2	0,04	0,01
2	K s 2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,04	0,01
3	K s 3	0,1	0,0	0,1	0,0	0,02	0,02
4	K s 5	1,4	0,3	1,4	0,3	0,02	0,01
5	K s 7	1,3	0,3	1,3	0,3	0,02	0,01
6	K s 12	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0
7	K ptl	0,0	0,0	0,0	0,0	0,03	0
8	K s 5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,02	0,01

3) Perbandingan Jatuh Tegangan Beban Malam

Tabel XVII  
 Perbandingan Jatuh Tegangan Beban Malam

No	Saluran	ETAP		Perhitungan		Selisih
		Kv	%	kV	%	
1	Kabel stn 1	0,4	0,42	0,4	0,4	0
2	Kabel stn 2	0,09	0,09	0,1	0,1	0,01
3	Kabel stn 3	0,09	0,08	0,1	0,1	0,01
4	Kabel stn 5	0,4	0,42	0,4	0,4	0
5	Kabel stn 7	0,2	0,21	0,2	0,2	0
6	Kabel stn 12	0	0,03	0	0	0
7	Kabel ptl	0	0,03	0	0	0
8	Kabel stn 10	0	0,01	0	0	0

I. Perbandingan Rugi-rugi Daya Beban Malam

Tabel XVII  
 Perbandingan Rugi-Rugi Daya Beban Malam

No	Saluran	Rugi-rugi daya				Selisih	
		Hasil Simulasi		Hasil Perhitungan		%	
		kW	kV AR	kW	kVAR	kW	kV AR
1	K s 1	1,8	0,4	1,75	0,40	0,05	0
2	K s 2	0,2	0,3	0,24	0,05	0,04	0,25
3	K s 3	0,1	0,0	0,08	0,01	0,02	0,01
4	K s 5	2,0	0,5	1,96	0,45	0,04	0,05
5	K s 7	1,2	0,3	1,23	0,28	0,03	0,02
6	K s 12	0,0	0,0	0,01	0,0	0,01	0
7	K ptl	0,0	0,0	0,03	0,0	0,03	0
8	K s 10	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0

V. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan hasil perhitungan dari simulasi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pemodelan sistem kelistrikan PT. Pertamina Hulu Indonesia Regional 3 Zona 10 Tarakan Field telah berhasil dilakukan menggunakan software ETAP, sesuai dengan kondisi aktual sistem kelistrikan yang ada.
2. Hasil simulasi aliran daya menunjukkan adanya rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada sistem distribusi. Nilai rugi-rugi daya aktif dan reaktif yang terjadi pada beban siang adalah 49 kW dan 50 kVAR, sedangkan pada beban malam sebesar 47 kW dan 54 kVAR.
3. Jatuh tegangan terbesar pada beban siang terjadi pada kabel Stasiun F11 dari Bus Stasiun F11B ke Bus Stasiun F11C, dengan nilai 13,69 kV (13,71%). Sementara itu, jatuh tegangan terendah terjadi di Stasiun 13, dari Bus 2 ke Bus Stasiun 13, dengan nilai 0,1 kV (0,14%). Sedangkan jatuh tegangan terbesar pada beban malam terjadi pada kabel Stasiun F11 dari Bus Stasiun F11B ke Bus Stasiun F11C, dengan nilai 10,09 kV (10,02%), sedangkan jatuh tegangan terendah terjadi pada kabel Stasiun 8, dari Bus Stasiun 7 ke Bus Stasiun 8, dengan nilai 0,09 kV (0,07%). Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai jatuh tegangan masih berada dalam batas toleransi yang diperbolehkan.
4. Perbandingan antara hasil simulasi dengan perhitungan manual menunjukkan selisih yang tidak signifikan, sehingga hasil yang diperoleh dapat dikatakan valid dan masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima.

REFERENSI

[1] S. Rahmawati, A. Supriyadi, dan B. Y. Hadi, "Optimasi Jaringan Distribusi untuk Menjamin Stabilitas Sistem Tenaga Listrik," *Jurnal Elektro*, vol. 12, no. 3, pp. 45-52, Maret 2019.

[2] Pilat. dkk, (2020). *Analisa Rugi-rugi Daya pada Saluran Distribusi 20kV Dikabupaten Kepulauan Sangihe*. *Jurnal Teknik Elektro Manado: Universitas Sam Ratulangi Manado*.

- [3] Pratiwi R.W., Haurissa (2020). *Analisa Rugi Daya Berbasis ETAP Pada Jaringan Distribusi 20 kV Penyulang Ahuru* Jurnal Elektronika dan Komputer Vol. 4 (1), Ambon: Universitas Politeknik Negeri Ambon.
- [4] Nirwana, Dewi dkk. (2020). Analisis Rugi-Rugi Daya Pada Jaringan Distribusi Penyulang Jentak di ULP Jenepono PT PLN (Persero) Sulselrabar. Jurnal Logika Technology: Universitas Muslim Indonesia.
- [5] Hardyudo. dkk, (2021). Analisa Rugi Daya dan Jatuh Tegangan pada Sistem Kelistrikan PT Pertamina Ledok Untuk Meningkatkan Keandalan Sistem. Jurnal Teknik Elektro Vol. 10 (3) Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- [6] D. Santoso, R. Wibowo, dan F. N. Prabowo, "Implementasi Sistem Monitoring Cerdas untuk Efisiensi Sistem Distribusi Listrik," dalam Proc. of the 2020 International Conference on Power and Energy, Bandung, Indonesia, pp. 112–117, 2020.
- [7] P. Julianto dan R.C.J. Manapa, "Rekonfigurasi Jaringan untuk Mereduksi Jatuh Tegangan dan Rugi-rugi Daya pada Sistem Distribusi 20 kV PT PLN Tarakan," Buletin Profesi Insinyur, vol. 7, no. 2, pp. 94-100, 2024.
- [8] P. Julianto, "Rekonfigurasi Jaringan Pada Sistem Distribusi Radial Untuk Mereduksi Rugi-rugi Daya Menggunakan Algoritma Genetika Adaptif," Jurnal Elekrika Borneo, vol. 9, no. 1, pp. 15–19, 2023.
- [9] P. Julianto dan Fitriani, "Modified Genetic Algorithm for Capacitive Compensation in Radial Distribution Systems," in Proc. of the 2024 11th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI), 2024, pp. 659–665.
- [10] P. Julianto, "Kompensasi Kapasitif Dengan Injeksi Daya Reaktif Untuk Mereduksi Rugi-Rugi Daya Aktif Pada Sistem Distribusi Skala Besar," Jurnal Elekrika Borneo, vol. 9, no. 2, pp. 36–43, 2023.
- [11] A. Prasetyo, "Pentingnya Keandalan Sistem Distribusi Listrik dalam Mendukung Pembangunan Nasional," Jurnal Energi Terbarukan, vol. 7, no. 1, pp. 22–29, Jan. 2022.
- [12] J. Glover, T. Overbye, and M. S. Sarma, *Power System Analysis and Design*, 6th ed., Cengage Learning, 2016.
- [13] H. Saadat, *Power System Analysis*, 3rd ed., McGraw-Hill, 2004.
- [14] W. H. Kersting, *Distribution System Modeling and Analysis*, 2nd ed., CRC Press, 2012.
- [15] IEEE Std 141-1993, "IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants," New York, NY, USA: IEEE, 1993.
- [16] H. Tanjung, "Analisis Jatuh Tegangan pada Sistem Distribusi Listrik," J. Teknik Elektro, vol. 10, no. 2, pp. 89–96, 2014.
- [17] R. D. Zimmerman, C. E. Murillo-Sanchez, and R. J. Thomas, "MATPOWER: Steady-State Operations, Planning, and Analysis Tools for Power Systems Research and Education," IEEE Trans. Power Syst., vol. 26, no. 1, pp. 12–19, Feb. 2011.
- [18] A. R. Bergen and V. Vittal, *Power Systems Analysis*, 2nd ed., Prentice Hall, 2000.
- [19] P. Kundur, *Power System Stability and Control*, McGraw-Hill, 1994.
- [20] IEEE Recommended Practice for Conducting Load-Flow Studies and Analysis of Industrial and Commercial Power Systems, IEEE Std 3002.2-2018, 2018.
- [21] IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants, IEEE Std 141-1993, 1994.
- [22] Hotong, Nolki J. dkk 2015. "Analisa rugi-rugi daya pada jaringan distribusi di PT. PLN Palu" "Other thesis, Universitas Sam Ratulangi Manado.
- [23] Salman, R. 2017. Analisis Penempatan Transformator Distribusi Berdasarkan Jatuh Tegangan. JITEKH 6(1): 17–21.
- [24] Arismunandar, Artono dan Kuwahara, S. (1993), *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik*, cetakan keenam. Pradnya Paramita, Jakarta.
- [25] SPLN 72-1987. Spesifikasi Desain untuk Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR). Departemen Pertambangan dan Energi Perusahaan Umum Listrik Negara. Jakarta.
- [26] Hayusman, L. M., T. Hidayat, C. Saleh, I. M. Wartana dan T. Herbasuki. 2017. *Pelatihan Software ETAP ( Electrical Transient Analyzer Program*. Industri Inovatif . 7(1): 7–11.
- [27] Reddy, D. S. dan C. S. Kumari. 2017. *Transient Stability Analysis Of A Combined Cycle Power Plant Using ETAP Software*. IEEE 7th International Advance Computing Conference: 510–115.