

Studi Perencanaan Interkoneksi Sistem Tenaga Listrik Tarakan–Bunyu Menggunakan Kabel Bawah Laut

^{1*} Patria Julianto, ² Muhammad Rafi Adrian

¹ Jurusan Teknik Elektro, Universitas Borneo Tarakan, Tarakan

² Jurusan Teknik Elektro, Universitas Borneo Tarakan, Tarakan

¹patria@borneo.ac.id, ²rafiadrian685@gmail.com

Article Info

Keyword:

Interkoneksi
Aliran daya
Perencanaan Sistem

Copyright © 2025 -SNTE
All rights reserved

ABSTRACT

Abstrak— Pulau Tarakan dan Pulau Bunyu berjarak sekitar 22 km dengan sistem tenaga listrik yang hingga saat ini beroperasi secara terpisah. Keterpisahan sistem tersebut membatasi fleksibilitas penyaluran daya, efisiensi, serta keandalan pasokan listrik di kedua wilayah. Penelitian ini mengusulkan perencanaan interkoneksi melalui jaringan kabel bawah laut sebagai solusi teknis untuk meningkatkan keandalan, efisiensi, dan fleksibilitas sistem distribusi. Penentuan spesifikasi kabel dilakukan berdasarkan perhitungan kemampuan hantar arus, dengan hasil rekomendasi penggunaan kabel XLPE berpenampang 70 mm² sepanjang 22,5 km. Simulasi aliran daya menggunakan perangkat lunak ETAP 19.0.1 menunjukkan rugi-rugi daya aktif sebesar 1,476 MW atau sekitar 3,59% dari total beban sistem sebesar 41,067 MW, serta tegangan terendah sebesar 18,51 kV yang masih berada dalam batas Standar PLN (SPLN). Hasil tersebut membuktikan bahwa interkoneksi Tarakan–Bunyu layak secara teknis, mampu menjaga profil tegangan, dan menekan rugi-rugi daya dalam batas yang diperbolehkan.

Corresponding Author:

Patria Julianto,
Jurusan Teknik Elektro, Universitas Borneo Tarakan, Tarakan,
Jalan Amal Lama No.1 Tarakan, Kalimantan Utara, 77115.
Email: patria@borneo.ac.id

I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan kebutuhan mendasar bagi masyarakat modern, tidak hanya untuk sektor rumah tangga, tetapi juga untuk industri, pemerintahan, fasilitas kesehatan, pendidikan, serta layanan sosial. Seiring meningkatnya kebutuhan listrik akibat pertumbuhan populasi dan kegiatan ekonomi, tantangan utama penyediaan tenaga listrik adalah memastikan kontinuitas pasokan yang andal, efisien, terjangkau, serta memiliki mutu daya yang stabil [1]. Permasalahan klasik seperti rugi-rugi energi, keterbatasan infrastruktur, dan ketidakseimbangan antara pusat pembangkit dan lokasi beban semakin menekankan urgensi perencanaan sistem yang terintegrasi.

PT PLN (Persero) sebagai penyedia tenaga listrik nasional menghadapi permasalahan unik di wilayah kepulauan Indonesia, salah satunya di Provinsi Kalimantan Utara. Pulau Tarakan dan Pulau Bunyu saat ini memiliki sistem tenaga listrik yang beroperasi secara terpisah, dengan kapasitas pembangkit sekitar 52 MW di Tarakan [2] dan ±3,5 MW di Bunyu [3]. Keterpisahan ini menimbulkan keterbatasan dalam fleksibilitas penyaluran daya, potensi defisit pada beban puncak, serta biaya operasi yang relatif tinggi akibat tidak adanya cadangan daya bersama. Selain itu, sistem terpisah juga kurang optimal dalam mendukung transisi

energi berkelanjutan, karena tidak ada integrasi cadangan maupun potensi pemanfaatan energi terbarukan antarwilayah.

Interkoneksi sistem tenaga listrik antar-pulau melalui kabel bawah laut telah banyak dipelajari dan terbukti meningkatkan keandalan sistem distribusi. Studi di Maluku menunjukkan bahwa interkoneksi kabel bawah laut dapat memperkuat keandalan dan menurunkan risiko defisit daya [4]. Penelitian lain pada sistem Bangka–Lapar menegaskan pentingnya pemilihan spesifikasi kabel agar rugi-rugi daya dapat ditekan dan stabilitas tegangan terjaga [5]. Di tingkat nasional, penelitian terbaru juga menyoroti kontribusi kabel tanah 20 kV terhadap pembangkitan daya reaktif [6] serta analisis rugi-rugi daya menggunakan perangkat lunak ETAP yang perlu divalidasi dengan perhitungan manual agar hasil simulasi dapat dipercaya [7].

Dari sisi material, Nashihuddin et al. [8] membandingkan kabel isolasi minyak dan XLPE pada jaringan 150 kV Jawa–Bali dan menemukan bahwa kabel XLPE lebih unggul dalam efisiensi penyaluran daya, keandalan operasi, serta umur pakai jangka panjang. Hal ini sejalan dengan tren global. Studi Zhang et al. [9] menegaskan bahwa kabel XLPE merupakan pilihan dominan untuk interkoneksi jarak menengah hingga panjang karena stabilitas dielektriknya yang tinggi, sedangkan Zhang [10] menunjukkan bahwa kabel XLPE tegangan sangat tinggi memiliki ketahanan lebih baik terhadap kelebihan beban dalam kondisi ekstrem. Dengan demikian, penggunaan kabel XLPE di proyek interkoneksi bawah laut menjadi pilihan yang rasional dari sisi teknis maupun ekonomi.

Di tingkat internasional, implementasi kabel bawah laut juga semakin berkembang pesat. Wang et al. [11] meneliti karakteristik rugi elektromagnetik pada kabel bawah laut dan menemukan bahwa jarak antar kabel berpengaruh signifikan terhadap rugi total sistem. Di Bangladesh, Chowdhury et al. [12] merancang sistem transmisi bawah laut untuk Pulau Swarna Dwip yang menggabungkan kabel bawah laut dengan sumber cadangan lokal dan energi terbarukan sebagai upaya meningkatkan keandalan pasokan listrik di pulau terisolasi. Sementara itu, di Vietnam, proyek interkoneksi 110 kV Con Dao sepanjang 41 km menjadi contoh nyata penerapan kabel bawah laut XLPE untuk mendukung kelistrikan kepulauan [13].

Meskipun sejumlah penelitian kabel bawah laut telah dilakukan di Indonesia maupun di tingkat internasional, hingga kini belum ada kajian teknis yang secara spesifik membahas interkoneksi sistem tenaga listrik antara Pulau Tarakan dan Pulau Bunyu. Kedua pulau ini memiliki peran strategis dalam mendukung pasokan listrik di Kalimantan Utara, sehingga kajian ini menjadi penting. Penelitian ini menawarkan kebaruan sebagai studi pertama yang menganalisis interkoneksi bawah laut Tarakan–Bunyu melalui pendekatan simulasi aliran daya menggunakan perangkat lunak ETAP, sekaligus memberikan dasar teknis bagi implementasinya di masa depan.

Selain meningkatkan keandalan pasokan listrik, interkoneksi ini juga membuka peluang integrasi pembangkit energi terbarukan di masa depan, seperti PLTS terapung, biomassa, dan energi angin di kawasan pesisir Kalimantan Utara. Dengan adanya interkoneksi, penetrasi energi terbarukan dapat lebih optimal karena adanya cadangan daya bersama antar-pulau yang mendukung fleksibilitas operasi sistem.

Dengan jarak relatif dekat sekitar 22 km, interkoneksi sistem tenaga listrik Tarakan–Bunyu melalui kabel bawah laut dipandang layak untuk diterapkan. Selain meningkatkan keandalan pasokan, interkoneksi ini berpotensi menurunkan rugi-rugi daya, mengoptimalkan pemanfaatan pembangkit, memperluas fleksibilitas operasi, serta menekan biaya operasi jangka panjang. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan spesifikasi kabel bawah laut berdasarkan perhitungan kemampuan hantar arus (KHA) serta melakukan simulasi aliran daya menggunakan perangkat lunak ETAP guna menganalisis profil tegangan dan rugi-rugi daya. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi praktis sebagai dasar teknis awal bagi implementasi interkoneksi di wilayah kepulauan Kalimantan Utara sekaligus menjadi referensi untuk pengembangan sistem serupa di wilayah kepulauan lainnya di Indonesia.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan pemodelan sistem tenaga listrik berbasis simulasi. Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis mulai dari pengumpulan data, perhitungan awal, hingga simulasi menggunakan perangkat lunak.

A. Peralatan dan Perangkat Lunak

Perangkat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- 1) Komputer dengan spesifikasi intel core i7 dan RAM 16 GB untuk pengolahan data dan simulasi;

- 2) Perangkat lunak ETAP 19.0.1, yang banyak digunakan dalam analisis sistem tenaga listrik termasuk studi aliran daya, rugi-rugi daya, dan profil tegangan [14];
- 3) Perangkat lunak pendukung (Microsoft Excel) untuk perhitungan manual kemampuan hantar arus (KHA) dan validasi hasil simulasi.

B. Data Sistem

Data yang digunakan berasal dari PT PLN Tarakan dan PT PLN Bunyu, meliputi:

- 1) Data pembangkit: kapasitas, tegangan keluaran, dan faktor daya;
- 2) Data saluran: panjang saluran, jenis konduktor, impedansi;
- 3) Data beban: besar beban puncak dan karakteristik distribusinya.
- 4) Total kapasitas beban sistem sebesar 41,067 MW, dengan pembangkit utama berlokasi di Tarakan (52 MW) dan Bunyu (3,5 MW).

C. Penentuan Spesifikasi Kabel

Perhitungan arus maksimum dilakukan berdasarkan daya pembangkit di Bunyu (3,5 MW) dengan tegangan sistem 20 kV. Arus nominal dapat dihitung menggunakan Persamaan (1) sebagai berikut:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \cos \varphi} \quad (1)$$

Keterangan:

- P = daya (Watt);
 V = tegangan saluran (Volt);
 $\cos \varphi$ = faktor daya;

Selanjutnya, untuk menentukan Kemampuan Hantar Arus (KHA) kabel digunakan Persamaan (2) sebagai berikut:

$$KHA = 125 \% \times I \quad (2)$$

Perhitungan kemampuan hantar arus (KHA) dilakukan untuk menentukan spesifikasi kabel bawah laut. Nilai arus maksimum dihitung berdasarkan daya puncak pembangkit di Bunyu, kemudian dikoreksi dengan faktor keamanan sesuai PUIL 2000. Dari hasil perhitungan diperoleh kebutuhan penampang minimum kabel sebesar 50 mm², namun karena keterbatasan ketersediaan, digunakan kabel XLPE dengan penampang 70 mm² sepanjang 22,5 km. Pemilihan kabel XLPE juga sejalan dengan implementasi pada industri global yang menekankan pada peningkatan efisiensi dan ketahanan material [10].

D. Simulasi Aliran Daya

Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak ETAP 19.0.1 dengan model sistem distribusi 20 kV Tarakan dan Bunyu. Analisis aliran daya difokuskan pada parameter dan perhitungan:

- 1) Profil tegangan di setiap bus;
- 2) Aliran daya aktif dan reaktif antar saluran;
- 3) Rugi-rugi daya aktif dan reaktif total sistem.

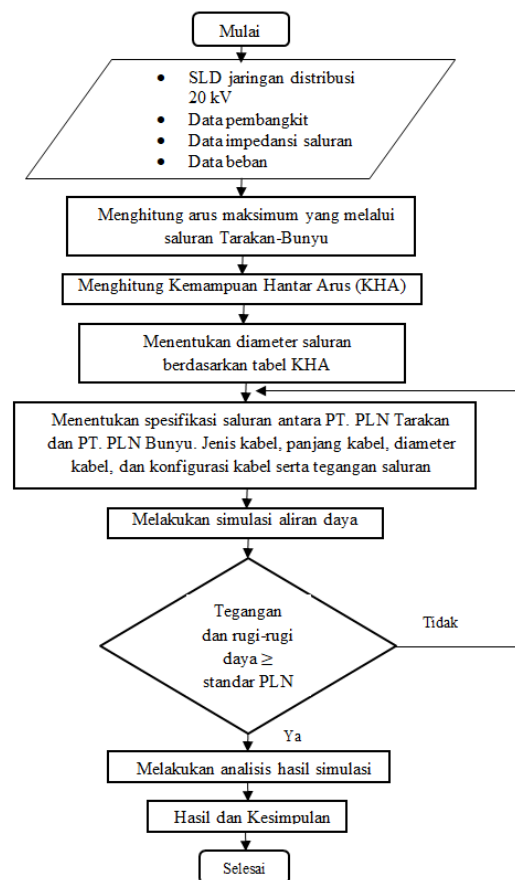
Simulasi aliran daya menggunakan perangkat lunak ETAP 19.0.1 dilakukan untuk menganalisis profil tegangan dan rugi-rugi daya. Persamaan dasar aliran daya untuk setiap bus dinyatakan sebagai:

$$S_i = P_i + jQ_i = V_i \sum_{k=1}^n V_k (G_{ik} \cos \delta_{ik} + B_{ik} \sin \delta_{ik}) \quad (3)$$

Keterangan

- P_i, Q_i = daya aktif dan reaktif pada bus i ;
 V_i, V_k = tegangan bus i dan bus k ;
 G_{ik}, B_{ik} = elemen matriks admitansi;
 δ_{ik} = sudut fasa.

Hasil simulasi digunakan untuk mengevaluasi kinerja sistem tenaga listrik Tarakan-Bunyu setelah dilakukan interkoneksi. Selanjutnya hasil simulasi dibandingkan dengan perhitungan manual untuk beberapa titik saluran terpilih, terutama rugi-rugi daya dan jatuh tegangan untuk mendapatkan hasil yang valid.



Gbr. 1. Flowchart penelitian

E. Alur Penelitian

Secara umum, alur penelitian dapat dilihat pada Gbr. 1 dengan tahapan sebagai berikut:

- 1) Identifikasi masalah sistem tenaga listrik di Tarakan dan Bunyu;
- 2) Pengumpulan data pembangkit, beban, dan saluran;
- 3) Perhitungan KHA dan penentuan spesifikasi kabel bawah laut;
- 4) Pembuatan model sistem distribusi di ETAP;
- 5) Simulasi aliran daya dan analisis hasil;
- 6) Validasi hasil simulasi dengan perhitungan manual;
- 7) Penarikan kesimpulan dan rekomendasi teknis.

III. DESAIN SALURAN DISTRIBUSI TARAKAN-BUNYU

Perencanaan interkoneksi sistem tenaga listrik antara Pulau Tarakan dan Pulau Bunyu dilakukan dengan menggunakan saluran distribusi 20 kV. Desain saluran penghubung ini mencakup saluran udara di masing-masing pulau serta saluran kabel bawah laut yang menghubungkan kedua pulau.

Pada perhitungan teknis, jatuh tegangan (ΔV) pada saluran distribusi dinyatakan dengan:

$$\Delta V = I \times (R \cos \varphi + X \sin \varphi) \quad (4)$$

Keterangan:

- I = Arus saluran (A);
 R = Resistansi saluran (Ω);
 X = Reaktansi saluran (Ω);
 φ = sudut beban ($^\circ$).

Perhitungan ini memastikan bahwa tegangan pada ujung saluran masih berada dalam batas standar PLN ($\geq 90\%$ tegangan nominal).

A. Saluran Udara Tarakan – Landing Point Tarakan

Pada sisi Tarakan, saluran distribusi dirancang dari bus existing menuju titik pendaratan (landing point) kabel bawah laut. Saluran ini menggunakan jenis konduktor AAAC (All Aluminium Alloy Conductor) dengan penampang 70 mm² dan panjang saluran 0,219 km. Penggunaan konduktor AAAC dipilih karena ringan, memiliki kekuatan tarik yang baik, serta tahan terhadap korosi di daerah pesisir.

B. Saluran Kabel Bawah Laut Tarakan – Bunyu

Bagian utama interkoneksi adalah kabel bawah laut yang menghubungkan landing point Tarakan dan Bunyu. Kabel yang digunakan adalah kabel tiga inti dengan isolasi XLPE (*Cross-Linked Polyethylene*), penampang 70 mm², dan panjang saluran 22,5 km. Kabel XLPE dipilih sebagai kabel bawah laut karena memiliki keunggulan dalam kemampuan hantar arus, ketahanan terhadap suhu operasi, serta umur pakai yang relatif lebih panjang dibandingkan kabel berisolasi minyak [8], [9].

Perhitungan kemampuan hantar arus (KHA) dilakukan berdasarkan daya maksimum yang dibangkitkan di Bunyu (3,5 MW). Dari hasil perhitungan diperoleh kebutuhan minimum penampang sebesar 50 mm², namun karena keterbatasan ketersediaan kabel di pasaran dan untuk memberikan margin keamanan tambahan, dipilih kabel berpenampang 70 mm².

C. Saluran Udara Bunyu – Bus Existing Bunyu

Pada sisi Bunyu, saluran distribusi yang menghubungkan landing point ke bus existing menggunakan konduktor AAAC 70 mm² dengan panjang 0,25 km. Pemilihan jenis dan ukuran konduktor disesuaikan dengan spesifikasi di sisi Tarakan agar konsisten dalam kapasitas hantar arus dan standar teknis operasi.

D. Rangkuman Spesifikasi Saluran

Berdasarkan perhitungan untuk setiap bagian pada sistem interkoneksi Tarakan-Bunyu maka rincian spesifikasi saluran distribusi antara sistem tenaga listrik PT. PLN Tarakan dan PT PLN Bunyu ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Saluran Distribusi Tarakan–Bunyu

Bagian Saluran	Jenis Konduktor	Penampang (mm ²)	Panjang (kms)	Tegangan (kV)
Tarakan – Landing Point Tarakan	AAAC	70	0,219	20
Kabel Bawah Laut Tarakan – Bunyu	XLPE (3 core)	70	22,5	20
Landing Point Bunyu – Bus Existing Bunyu	AAAC	70	0,25	20

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Perhitungan Kemampuan Hantar Arus

Arus nominal (*I*) dihitung dari daya maksimum pembangkit di Bunyu sebesar 3,5 MW dengan tegangan 20 kV menggunakan persamaan (1), dengan faktor daya ($\cos \varphi$) = 0,85, diperoleh arus nominal sebesar 101 A. Selanjutnya, sesuai standar PUIL 2000 sebagaimana persamaan (2) diperoleh nilai KHA sebesar 126 A. Berdasarkan nilai tersebut, penampang kabel minimum yang diperlukan adalah 50 mm². Namun, untuk memberikan margin keamanan tambahan sekaligus menyesuaikan ketersediaan di pasaran, digunakan kabel XLPE berpenampang 70 mm² sepanjang 22,5 km.

B. Hasil Simulasi Aliran Daya

Simulasi aliran daya menggunakan perangkat lunak ETAP 19.0.1 dilakukan untuk menganalisis profil tegangan dan rugi-rugi daya. Hasil ringkas simulasi aliran daya sistem interkoneksi Tarakan-Bunyu dapat dihitung menggunakan persamaan dasar aliran daya sebagaimana persamaan (3) dengan hasil simulasi sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Simulasi Aliran Daya Sistem Interkoneksi Tarakan–Bunyu

Parameter	Nilai Simulasi	Standar SPLN	Keterangan
Rugi-rugi daya aktif	1,476 MW	< 5% beban	3,59% dari total beban (41,067 MW)
Rugi-rugi daya reaktif	3,384 MVar	-	Dalam batas wajar
Tegangan terendah	18,51 kV	≥ 90% Un	Masih sesuai standar

Hasil menunjukkan rugi-rugi daya aktif sebesar 1,476 MW atau sekitar 3,59% dari total beban sistem, masih dalam batas toleransi SPLN. Tegangan terendah tercatat 18,51 kV, yang lebih tinggi dari batas minimum 90% tegangan nominal (18 kV).

C. Hasil Simulasi Aliran Daya

Untuk memverifikasi hasil simulasi, dilakukan perhitungan manual rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada beberapa saluran utama. Rugi-rugi daya aktif dan reaktif dihitung dengan persamaan:

$$P_{loss} = I^2 R \quad (4)$$

$$Q_{loss} = I^2 X \quad (5)$$

Hasil perhitungan manual menunjukkan deviasi yang sangat kecil dibandingkan dengan hasil simulasi ETAP, dengan selisih rata-rata kurang dari 2%. Hal ini membuktikan bahwa model simulasi yang dibangun akurat dan dapat digunakan sebagai dasar analisis.

D. Pembahasan

Hasil penelitian ini membuktikan bahwa interkoneksi sistem tenaga listrik Tarakan–Bunyu melalui kabel bawah laut secara teknis layak diimplementasikan. Dengan penggunaan kabel XLPE 70 mm² sepanjang 22,5 km, rugi-rugi daya dan profil tegangan masih dalam batas yang diperbolehkan oleh SPLN.

Interkoneksi ini memberikan manfaat teknis berupa:

- Peningkatan keandalan sistem, karena kedua pulau dapat saling menopang pasokan daya saat terjadi defisit di salah satu sistem.
- Efisiensi operasional, ditunjukkan dengan rugi-rugi daya aktif hanya 3,59% dari total beban sistem.
- Optimalisasi pembangkit, karena sistem interkoneksi memungkinkan pemanfaatan kapasitas yang lebih fleksibel.

Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya mengenai interkoneksi kabel bawah laut di Maluku [4], Bangka–Lapar [5], serta proyek kabel bawah laut di Vietnam [13], yang sama-sama menunjukkan penurunan rugi-rugi daya dan perbaikan profil tegangan setelah implementasi interkoneksi.

V. KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa interkoneksi sistem tenaga listrik Tarakan–Bunyu melalui kabel bawah laut secara teknis layak diimplementasikan. Spesifikasi kabel yang sesuai adalah XLPE tiga inti berpenampang 70 mm² sepanjang 22,5 km, dengan saluran udara AAAC 70 mm² di masing-masing sisi pulau. Hasil simulasi aliran daya menggunakan ETAP 19.0.1 menunjukkan rugi-rugi daya aktif sebesar 1,476 MW atau sekitar 3,59% dari total beban 41,067 MW, serta rugi-rugi daya reaktif sebesar 3,384 MVar. Profil tegangan terendah tercatat sebesar 18,51 kV, yang masih sesuai dengan ketentuan SPLN (≥ 90% tegangan nominal). Validasi dengan perhitungan manual menunjukkan deviasi kurang dari 2% terhadap hasil simulasi, sehingga model dapat dinyatakan valid.

Dari sisi novelty, penelitian ini merupakan studi pertama yang mengkaji interkoneksi Tarakan–Bunyu secara teknis menggunakan simulasi aliran daya berbasis ETAP dengan validasi perhitungan manual. Hal ini memberikan kontribusi baru dalam literatur kelistrikan kepulauan Indonesia, khususnya di Kalimantan Utara.

Implikasi transisi energi: hasil penelitian menegaskan bahwa interkoneksi tidak hanya penting untuk keandalan dan efisiensi sistem, tetapi juga strategis dalam mendukung agenda transisi energi nasional. Dengan adanya interkoneksi, sistem antar-pulau dapat lebih mudah mengakomodasi penetrasi energi terbarukan, seperti PLTS terapung, biomassa, dan energi angin, karena tersedianya cadangan daya bersama yang meningkatkan fleksibilitas operasi.

Keterbatasan penelitian terletak pada fokus yang masih terbatas pada aspek teknis aliran daya, rugi-rugi, dan profil tegangan. Aspek keekonomian investasi, analisis keandalan dalam skenario kontingensi (N-1), serta skenario penetrasi energi terbarukan belum dianalisis secara rinci.

Rekomendasi: penelitian lanjutan perlu mengkaji kelayakan ekonomi, analisis keandalan sistem pada berbagai kondisi operasi, serta integrasi sumber energi terbarukan dalam sistem interkoneksi Tarakan–Bunyu. Dengan demikian, interkoneksi ini dapat berfungsi tidak hanya sebagai penguat keandalan sistem tenaga di Kalimantan Utara, tetapi juga sebagai fondasi penting dalam pencapaian target nasional menuju Net Zero Emission (NZE) 2060.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT PLN (Persero) UP3 Tarakan dan PT PLN Bunyu atas dukungan data teknis sistem tenaga listrik yang sangat membantu dalam penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Jurusan Teknik Elektro Universitas Borneo Tarakan atas dukungan akademik dan fasilitas yang diberikan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

REFERENSI

- [1] International Energy Agency (IEA), *World Energy Outlook 2022*. Paris: IEA, 2022.
- [2] Badan Pusat Statistik Kota Tarakan, *Tarakan dalam Angka 2022*. Tarakan: BPS, 2022.
- [3] P. Julianto, “Rekonfigurasi Jaringan Pada Sistem Distribusi Radial Untuk Mereduksi Rugi-Rugi Daya Menggunakan Algoritma Genetika Adaptif,” *Jurnal ElektriKa Borneo*, vol. 9, no. 1, pp. 15–19, 2023.
- [4] J. Tupalessy, R. N. Hasanah, and H. Suyono, “Perencanaan Sistem Interkoneksi Jaringan Listrik Kabel Bawah Laut di Propinsi Maluku,” *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 14, no. 2, pp. 45–52, 2015.
- [5] A. Fitrahadi, W. Wijono, and H. Seoktjo, “Peletakan dan Analisa Keandalan Kabel Bawah Laut Bangka–Lapar,” *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 11, no. 1, pp. 33–40, 2019.
- [6] Y. Agustina, “Analisis Aliran Daya Kabel Tanah Tegangan Menengah 20 kV Sebagai Penghasil Daya Reaktif pada PT PLN (Persero) Kota Subulussalam,” *Jurnal Rekayasa ElektriKa*, vol. 18, no. 2, pp. 112–118, 2022.
- [7] D. I. Pratama and I. Cahayahati, “Analisis Drop Tegangan dan Rugi-rugi Daya pada Jaringan Tegangan Menengah 20 kV Menggunakan ETAP,” *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 15, no. 2, pp. 98–104, 2022.
- [8] A. N. A. Nashihuddin, M. Rahman, and A. S. Putra, “Perbandingan Kabel Isolasi Minyak dan XLPE pada Saluran Kabel Tegangan Tinggi 150 kV Jawa–Bali,” *Jurnal Energi dan Kelistrikan*, vol. 12, no. 1, pp. 45–52, 2022.
- [9] L. Zhang, F. Wang, and Y. Xu, “Advances in XLPE Submarine Cables for Medium- and Long-Distance Interconnections,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 165, p. 112579, 2023.
- [10] H. Zhang, “Overload Capacity Analysis of Extra High Voltage AC XLPE Submarine Cable,” *Frontiers in Energy Research*, vol. 11, p. 1178059, 2023.
- [11] L. Wang, Y. Chen, and J. Li, “Research on Electromagnetic Loss Characteristics of Submarine Cable,” *Ocean Engineering*, vol. 274, p. 113796, 2023.
- [12] M. H. R. Chowdhury, A. K. M. Hasan, and S. K. Das, “Designing of an Underwater Power Transmission System and Hybrid Power Supply for an Isolated Island of Bangladesh (Swarna Dwip),” in *Proc. IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies – Asia (ISGT Asia)*, Dec. 2021, pp. 1–6.
- [13] Offshore Energy, “Chinese firm delivers first kilometers of subsea cable for Vietnam,” *Offshore Energy News*, Jan. 2025. [Online]. Available: <https://www.offshore-energy.biz/chinese-firm-delivers-first-kilometers-of-subsea-cable-for-vietnam>
- [14] ETAP, *ETAP Power System Analysis & Operation Software, Version 19.0.1 User Guide*. ETAP, 2019.