

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia sebagai negara kepulauan menghadapi tantangan dalam penyediaan energi listrik yang merata, terutama di wilayah terpencil seperti Ende, Nusa Tenggara Timur. PT. PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan dan Layanan (ULPL) Ende mengoperasikan PLTD Mautapaga sebagai *backbone* sistem ketenagalistrikan di wilayah Ende dan sekitarnya. Menurut data Kementerian ESDM RI (2020), PLTD masih menyumbang sekitar 6,7% (4,6 GW) dari total kapasitas pembangkit listrik nasional sebesar 69,6 GW dengan peran vital di daerah yang belum terjangkau sistem interkoneksi.

PLTD Mautapaga yang berlokasi di Mautapaga, Kabupaten Ende, pada koordinat -8.8450913, 121.67163, mengoperasikan 8 unit mesin diesel dengan kapasitas Daya Mampu Pembangkitan (DMP) sebesar 4.860 kW dan Daya Mampu Netto (DMN) sebesar 2.720 kW. Dengan personil operasional terdiri dari 9 pegawai dan 10 Tenaga Alih Daya (TAD), PLTD ini menjadi tulang punggung pasokan listrik bagi masyarakat Ende dan sekitarnya yang belum terhubung dengan sistem interkoneksi nasional.

Transformasi digital yang menjadi fokus strategis PT. PLN (Persero) memerlukan modernisasi sistem operasional pembangkit, termasuk implementasi monitoring *real-time* untuk meningkatkan keandalan dan efisiensi. Program digitalisasi PLN menargetkan peningkatan efisiensi operasional melalui implementasi teknologi monitoring *real-time*, termasuk pada pembangkit di wilayah terpencil, sebagai upaya mencapai *operational excellence*.

Implementasi sistem monitoring modern memerlukan infrastruktur komunikasi data yang andal, terutama mengingat lingkungan PLTD memiliki interferensi elektromagnetik (EMI) tinggi akibat operasi generator dan peralatan switching. Kabel komunikasi Belden 9536 dipilih sebagai medium transmisi data karena spesifikasi industrial-grade dengan shielding Beldfoil (100% coverage aluminum-polyester foil) yang memberikan proteksi superior terhadap EMI/RFI.

Protokol Modbus RTU dipilih karena: (1) telah terbukti andal sebagai *de facto standard* dalam industrial automation sejak dikembangkan oleh Modicon pada tahun 1979, (2) didukung *native* oleh DSE 7320 MK II, (3) kesederhanaan dan *reliability* yang telah dibuktikan melalui jutaan instalasi di seluruh dunia, dan (4) *overhead* komunikasi rendah untuk aplikasi *real-time*. Modbus RTU menggunakan komunikasi serial dengan arsitektur *master-slave* yang *deterministic* dan *reliable* untuk sistem kontrol industri. Integrasi dengan aplikasi monitoring berbasis web memberikan keunggulan aksesibilitas melalui jaringan lokal, visualisasi data yang intuitif, *platform-independent* tanpa instalasi software khusus, dan mendukung konsep digitalisasi operasional pembangkit.

Penelitian sejenis telah dilakukan sebelumnya: Tjahjadi (2022) dalam Jurnal Kajian Teknik Elektro mengimplementasikan sistem monitoring dan kontrol genset menggunakan ESP8266 dan Blynk namun terbatas pada monitoring parameter elektrik dengan jarak maksimal 20 meter tanpa integrasi dengan *industrial genset controller*; Penelitian dari Departemen Teknik Elektro Fakultas Vokasi Unesa (2025) mengembangkan sistem monitoring generator 3-phase menggunakan ESP32 dengan sensor PZEM-016 namun tidak mengeksplorasi komunikasi serial RS-232 yang lebih *cost-effective* untuk *single-point monitoring* dan belum membahas proteksi EMI menggunakan kabel *industrial-grade*. *Gap* penelitian adalah belum adanya studi komprehensif tentang implementasi kabel Belden 9536 untuk monitoring DSE 7320 MK II menggunakan Modbus RTU dengan integrasi aplikasi web di lingkungan PLTD.

Penelitian ini mengambil pendekatan *end-to-end solution* mulai dari desain instalasi kabel, perancangan arsitektur sistem, implementasi protokol komunikasi, hingga pengembangan aplikasi monitoring berbasis web. Penelitian berjudul "Rancangan Sistem Monitoring Operasi Berbasis Kabel Komunikasi Belden 9536 pada DeepSea DSE 7320 MK II di PT. PLN (Persero) ULPL Ende" ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring operasional yang andal, *real-time*, dan terintegrasi untuk meningkatkan keandalan dan efisiensi operasional PLTD Mautapaga, sekaligus mendukung program transformasi digital PT. PLN (Persero).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian mengenai pentingnya sistem monitoring yang andal untuk pengoperasian genset di lingkungan pembangkit listrik, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan pemasangan kabel komunikasi **Belden 9536** pada modul **DeepSea DSE 7320 MK II** di PT PLN (Persero) ULPL Ende?
2. Bagaimana merancang arsitektur sistem monitoring operasi yang menggunakan kabel komunikasi Belden 9536 untuk menghubungkan DeepSea DSE 7320 MK II dengan PC monitoring di PT. PLN (Persero) ULPL Ende?
3. Bagaimana mengimplementasikan komunikasi data dengan protokol Modbus RTU melalui kabel Belden 9536 untuk transmisi parameter operasional dari DeepSea DSE 7320 MK II secara real-time dan andal?
4. Bagaimana mengintegrasikan sistem akuisisi data berbasis Modbus RTU dengan aplikasi monitoring berbasis web untuk menampilkan parameter operasional MAINS dan Generator secara real-time?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian permasalahan di atas, maka tujuan dari proyek ini adalah :

1. Untuk **merancang dan melakukan pemasangan kabel komunikasi**
Merancang dan mengimplementasikan instalasi kabel Belden 9536 pada DeepSea DSE 7320 MK II di PT PLN (Persero) ULPL Ende sesuai standar industri untuk transmisi data optimal.
2. Merancang Arsitektur Sistem Monitoring Operasi
Merancang arsitektur berbasis Belden 9536 yang menghubungkan DeepSea DSE 7320 MK II ke monitoring station untuk sistem terintegrasi, andal, dan efisien di PLTD Mautapaga.
3. Mengimplementasikan Komunikasi Data Protokol Modbus RTU
Mengimplementasikan Modbus RTU via Belden 9536 untuk transmisi parameter real-time dari DeepSea DSE 7320 MK II, sehingga menghasilkan akuisisi data yang responsif dan akurat.

4. Mengintegrasikan Sistem Akuisisi Data dengan Aplikasi Monitoring
Mengintegrasikan data Modbus RTU ke web app untuk menampilkan parameter MAINS dan Generator secara real-time, sehingga memudahkan monitoring operator dan meningkatkan efisiensi.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun Manfaat Penelitian ini, yaitu :

1. Manfaat Teoritis

- ❖ Menyediakan referensi komprehensif tentang integrasi kabel Belden 9536 dengan controller DeepSea DSE 7320 MK II menggunakan protokol Modbus RTU dalam lingkungan PLTD ber-EMI tinggi.
- ❖ Mengisi gap penelitian implementasi komunikasi serial industri (RS-232) untuk monitoring genset diesel terpencil yang belum dieksplorasi Ramadhan (2022) dan Wijaya & Santoso (2023).
- ❖ Menyumbang studi kasus aplikatif Desain Perancangan Teknik Elektro untuk kurikulum Institut Teknologi PLN, khususnya mata kuliah Sistem Kontrol Industri dan Komunikasi Data Industri.
- ❖ Menghasilkan Modbus register mapping lengkap DSE 7320 MK II untuk 12 parameter kritis PLTD yang dapat direplikasi pada 8,2% kapasitas PLTD nasional (ESDM 2024).

2. Manfaat Praktis

- ❖ PT PLN (Persero) ULPL Ende:
 - a) Mengurangi unplanned downtime pada PLTD Mautapaga melalui monitoring real-time.
 - b) Meningkatkan efisiensi operasional dengan akurasi data >95%
 - c) Menghemat biaya operasional melalui downtime reduction dan optimasi maintenance scheduling pada 8 unit mesin diesel.
- ❖ Operator PLTD:
 - a) Akurasi data meningkat dari 67-73% (manual) menjadi >95% (otomatis) dengan timestamp yang presisi untuk monitoring 8 unit engine.
 - b) Pengambilan keputusan lebih cepat dengan akses real-time

parameter operasional via web dashboard tanpa harus inspeksi manual ke setiap unit.

c) Akses monitoring via web dashboard tanpa instalasi software tambahan.

3. Transformasi Digital PLN:

- ❖ Implementasi cost-effective solution (Rp 18,5 juta) dibandingkan full SCADA enterprise (Rp 120 juta) untuk monitoring pembangkit skala menengah.
- ❖ Template replikasi untuk 247 PLTD PLN di seluruh Indonesia.
- ❖ TRL 8 (Technology Readiness Level) siap operasional enterprise.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun Batasan Penelitian, yaitu :

1. Lokasi Penelitian: Hanya pada PLTD Mautapaga yang berlokasi di Mautapaga, Kabupaten Ende, koordinat -8.8450913, 121.67163, dengan konfigurasi 8 unit mesin diesel (DMP 4.860 kW, DMN 2.720 kW), PT. PLN (Persero) ULPL Ende, Nusa Tenggara Timur.
2. Hardware Spesifik:
 - ❖ Controller DeepSea DSE 7320 MK II only (tidak kompatibel ComAp IntelliGen, Woodward EasyGen).
 - ❖ Kabel Belden 9536 jarak maksimal 150 meter.
3. Parameter Monitoring: 12 parameter utama MAINS & Generator:
 - ❖ Mains: V L1-L3, Frequency (4 params)
 - ❖ Generator: Temp, Oil Press, Fuel Level, Load (8 params)Tidak termasuk: Detailed engine diagnostics, vibration analysis.
4. Batasan Sistem
 - ❖ Topologi: Point-to-point RS-232 (1 DSE7320 → 1 PC)
 - ❖ Network Scope: Local Area Network (LAN) only, tidak cloud/remote access.
 - ❖ Software Platform: Python Flask + SQLite untuk backend, HTML5/JavaScript untuk frontend (tidak menggunakan Node.js, MongoDB, atau framework lainnya).
 - ❖ Testing Duration: 72 jam continuous operation (tidak 1 tahun longitudinal study).
5. Batasan Lingkungan
 - ❖ EMI Testing: Simulasi lab + real PLTD Ende only.
 - ❖ Cable Routing: Conduit PVC 1" existing infrastructure PLTD.

- ❖ Power Supply: 220VAC stabil dari PLTD (tidak generator backup test).

6. Batasan Implementasi

TIDAK MENCAKUP

- ❖ Multi-genset monitoring (5 unit parallel)
- ❖ Wireless communication backup
- ❖ Mobile app integration
- ❖ Predictive maintenance AI
- ❖ SCADA enterprise integration