

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

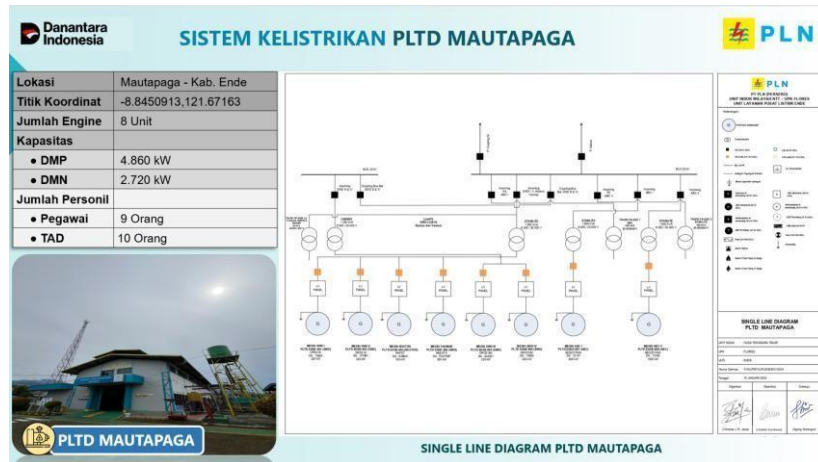
2.1 Kajian Teori Terkait Desain dan Perancangan

2.1.1. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) Mautapaga



(Gambar 1. Layout PLTD Mautapaga)

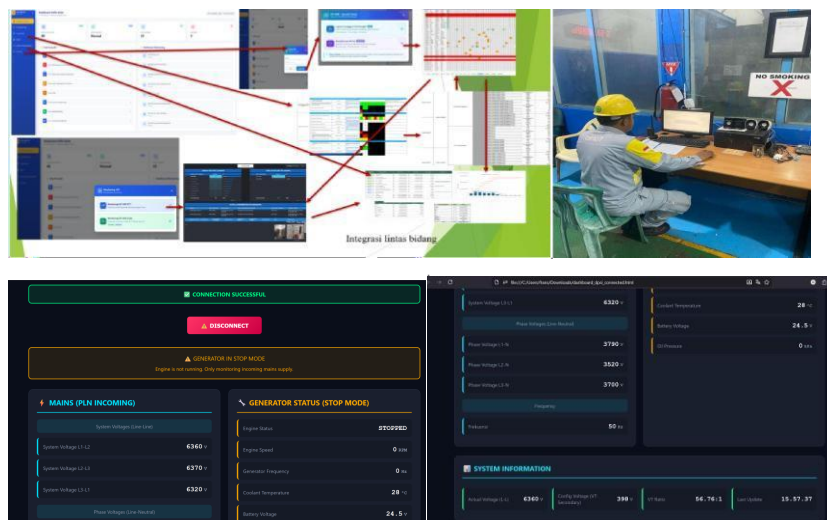
PLTD merupakan pembangkit listrik yang menggunakan mesin diesel sebagai penggerak utama (*prime mover*) untuk mengkonversi energi kimia dari bahan bakar menjadi energi mekanik, kemudian diubah menjadi energi listrik melalui generator sinkron. Menurut IEEE Std 1020-2020, PLTD dikategorikan sebagai *distributed generation* (DG) yang beroperasi pada tegangan distribusi (< 35 kV) dengan kapasitas tipikal 0,5-50 MW per unit.



(Gambar 2. Sistem Kelistrikan PLTD Mautapaga)

PLTD Mautapaga yang berlokasi di Mautapaga, Kabupaten Ende (koordinat -8.8450913, 121.67163) mengoperasikan 8 unit genset dengan Daya Mampu Pembangkitan (DMP) 4.860 kW dan Daya Mampu Netto (DMN) 2.720 kW yang melayani beban Ende dan sekitarnya. Sebagai sistem *islanding* (tidak terinterkoneksi), PLTD berperan vital dalam keandalan pasokan listrik wilayah Ende.

2.1.2. Sistem Monitoring dan SCADA



(Gambar 3. Sistem Monitoring PLTD Mautapaga)

Sistem monitoring merupakan infrastruktur yang melakukan pengukuran, akuisisi, transmisi, pemrosesan, dan visualisasi parameter operasional secara kontinyu. Dalam konteks *power generation*, monitoring mencakup parameter elektrik (tegangan, arus, frekuensi,

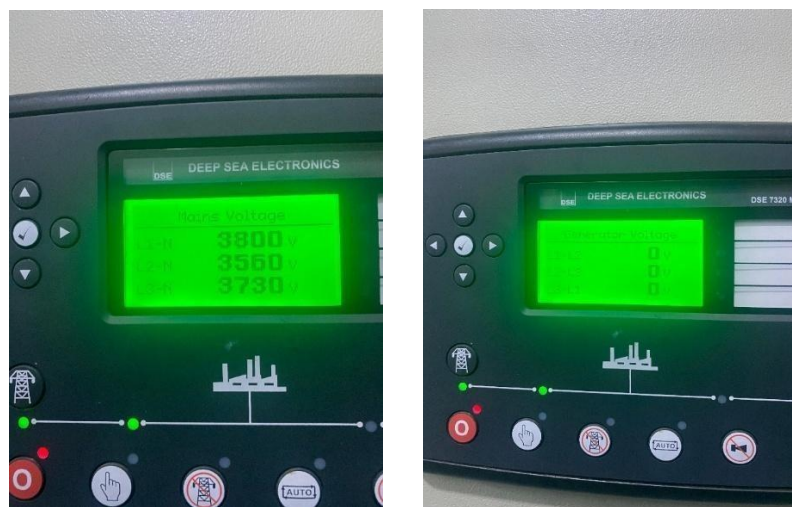
daya), mekanikal (RPM, vibrasi), dan thermal (suhu, tekanan, *flow rate*) untuk memastikan operasi dalam batas aman dan efisien.

SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) adalah sistem terintegrasi yang menggabungkan *hardware* akuisisi data dengan *software* HMI (*Human-Machine Interface*) untuk monitoring dan kontrol proses industri. Arsitektur SCADA tipikal terdiri dari:

- ❖ Field devices (sensor, transducer, actuator)
- ❖ RTU (Remote Terminal Unit) atau PLC (Programmable Logic Controller)
- ❖ Communication infrastructure (serial RS-232/485, Ethernet, fiber optic)
- ❖ Master Terminal Unit (MTU) dengan SCADA software
- ❖ Historian database dan alarm management system

2.1.3. Deep Sea Electronics DSE 7320 MK II Controller

DSE 7320 MK II adalah AMF (*Auto Mains Failure*) *controller* generasi kedua yang diproduksi oleh Deep Sea Electronics plc, UK. *Controller* ini dirancang untuk *Auto Start Power Generation Systems* dengan kemampuan monitoring *dual-source* (MAINS dan Generator) serta integrasi komunikasi data *industrial-grade*.



(Gambar 4. Tampilan MAINS dan Generator pada Deepsea)

Spesifikasi teknis DSE 7320 MK II (DSE Technical Manual 057-186, Rev 1.5, 2023):

Parameter	Spesifikasi
Voltage Measurement Range	0-600 VAC phase-to-neutral (0-999 VAC phase-to-phase)
Frequency Range	40-70 Hz (± 0.1 Hz accuracy)
Current Measurement	Via CT (0/5A atau 0/1A), range 0-9999A
Power Measurement	kW, kVAr, kVA, Power Factor ($\pm 2\%$ accuracy)
Communication Ports	RS-232 (DB9), RS-485 (optional), CAN Bus
Modbus Protocol	Modbus RTU slave, baudrate 1200-115200 bps
Operating Temperature	-20°C to +70°C (industrial grade)
Protection Rating	IP65 front panel (dust-tight, water-resistant)

(Tabel 1. Spesifikasi teknis DSE 7320 MK II)

DSE 7320 MK II memiliki register map lengkap berbasis Modbus yang memungkinkan pembacaan 150+ parameter secara simultan. Controller ini telah tersertifikasi CE, UL, dan memenuhi standar EMC EN 61000-6-2 (immunity) serta EN 61000-6-4 (emission) untuk aplikasi industrial environment. Pada PLTD Mautapaga dengan 8 unit genset, DSE 7320 MK II terpasang pada setiap unit untuk monitoring dan kontrol individual

2.1.4. Protokol Modbus RTU

Modbus RTU (*Remote Terminal Unit*) adalah protokol komunikasi serial yang dikembangkan oleh Modicon (sekarang Schneider Electric) pada tahun 1979 dan menjadi *de facto standard* untuk komunikasi industrial. RTU *variant* menggunakan *binary encoding* yang lebih compact dibandingkan Modbus ASCII, menghasilkan *overhead* lebih rendah dan *throughput* lebih tinggi.



(Gambar 5. Tampilan belakang DeepSea DSE 7320 MK II)

Karakteristik Modbus RTU menurut Modbus Protocol Specification v1.1b3 (2012):

- ❖ Frame Structure: Slave Address (1 byte) + Function Code (1 byte) + Data (n bytes) + CRC (2 bytes)
- ❖ Baudrate: 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200 bps (DSE 7320 MK II support up to 115200)
- ❖ Data Format: 8 data bits, 1 stop bit, no parity (8N1) atau even/odd parity (8E1/8O1)
- ❖ Error Detection: CRC-16 (Cyclic Redundancy Check) dengan polynomial 0xA001
- ❖ Topology: Master-slave (1 master, up to 247 slaves pada RS-485 multi-drop)

Function codes yang relevan untuk monitoring DSE 7320 MK II:

- ❖ FC 03 (Read Holding Registers): Membaca parameter operasional (voltage, frequency, RPM, temperature)
- ❖ FC 04 (Read Input Registers): Membaca digital inputs dan status
- ❖ FC 06 (Write Single Register): Konfigurasi parameter (tidak digunakan dalam monitoring read-only)

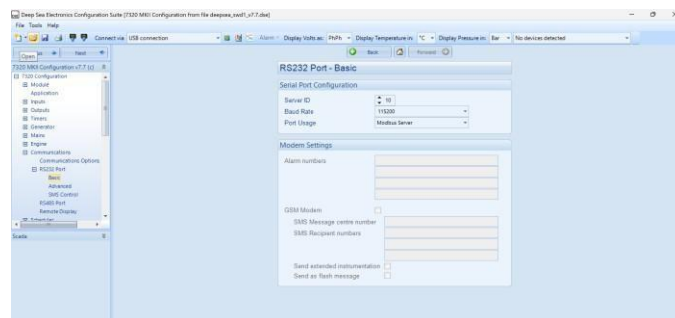
Kelebihan Modbus RTU dibanding protokol lain untuk aplikasi monitoring PLTD:

- ❖ Open standard tanpa licensing fee (berbeda dengan Profibus atau DeviceNet)
- ❖ Simple implementation dengan library tersedia untuk semua major programming languages

- ❖ Native support oleh DSE 7320 MK II tanpa perlu gateway atau converter
- ❖ Binary encoding menghasilkan overhead rendah: hanya 8 byte untuk query 10 registers
- ❖ Mature ecosystem dengan jutaan devices installed worldwide sejak 1979

2.1.5. Komunikasi Serial RS-232

RS-232 (*Recommended Standard 232*) adalah *standard interface* komunikasi serial yang ditetapkan oleh EIA (*Electronic Industries Alliance*) pada tahun 1962. *Standard* ini mendefinisikan *electrical characteristics, signal timing, dan physical connector* (DB9 atau DB25) untuk DTE (*Data Terminal Equipment*) dan DCE (*Data Communication Equipment*).



(Gambar 6. Komunikasi RS-232 pada Deep Sea Electronics Configuration Suite Suite)

Spesifikasi teknis RS-232 meliputi *voltage levels* Logic 0 (+3V to +15V) dan Logic 1 (-3V to -15V), jarak maksimal 15 meter (50 *feet*) pada 19200 bps yang dapat diperluas hingga 150 meter dengan kabel *low-capacitance, maximum data rate* 20 kbps secara teoritis namun praktis hingga 115200 bps pada jarak pendek, dan topology *point-to-point* (1-to-1 connection)

Spesifikasi teknis RS-232 (EIA-232-F standard):

- ❖ Voltage Levels: Logic 0 (+3V to +15V), Logic 1 (-3V to -15V), Dead zone (-3V to +3V)
- ❖ Maximum Distance: 15 meters (50 feet) pada 19200 bps, extendable hingga 150 meter dengan low-capacitance cable

- ❖ Maximum Data Rate: 20 kbps (theoretical), praktis hingga 115200 bps pada short distance
- ❖ Topology: Point-to-point (1-to-1 connection), tidak support multi-drop seperti RS-485
- ❖ Cable Capacitance Limit: 2500 pF maximum (menentukan jarak maksimal dan baudrate)

Pinout DB9 connector untuk RS-232 (DSE 7320 MK II configuration):

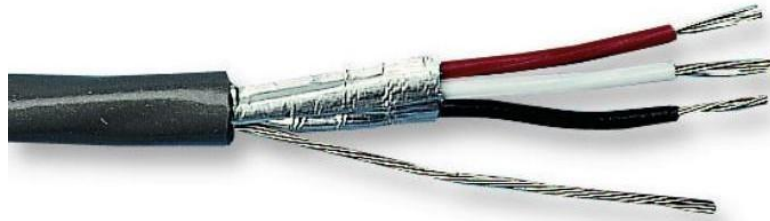
- ❖ Pin 2 (RXD): Receive Data - menerima data dari PC
- ❖ Pin 3 (TXD): Transmit Data - mengirim data ke PC
- ❖ Pin 5 (GND): Signal Ground - referensi common ground
- ❖ Pin 4, 6, 7, 8: Hardware handshaking (tidak digunakan pada Modbus RTU 3-wire configuration)

Pemilihan RS-232 untuk penelitian ini didasarkan pada:

- ❖ DSE 7320 MK II memiliki native RS-232 port (DB9) tanpa perlu RS-485 converter
- ❖ Topology point-to-point sesuai untuk single-unit monitoring (1 DSE → 1 PC)
- ❖ Jarak PLTD Mautapaga dari control room < 150 meter, masih dalam limit RS-232 dengan kabel berkualitas
- ❖ Cost-effective: tidak memerlukan RS-485 converter (Rp 1,2 juta) atau Ethernet gateway (Rp 3,5 juta)

2.1.6. Kabel Komunikasi Industrial Belden 9536

Belden 9536 adalah kabel komunikasi RS-232/RS-422 *industrial-grade* yang dirancang khusus untuk lingkungan dengan EMI/RFI tinggi seperti *power plant*, *manufacturing facility*, dan *control room*. Kabel ini diproduksi oleh Belden Inc., USA, dengan sertifikasi UL, CE, dan RoHS untuk aplikasi industrial.



(Gambar 7. Kabel Belden 9536)

Spesifikasi teknis Belden 9536:

- ❖ Conductor: 2-pair (4 wires total), 24 AWG (7×32 stranded tinned copper)
- ❖ Shielding: 100% coverage aluminum-polyester foil + tinned copper drain wire
- ❖ Impedance: $100\Omega \pm 15\Omega$ (sesuai RS-422 standard)
- ❖ Capacitance: 16 pF/ft (52.5 pF/m) conductor-to-conductor
- ❖ Jacket: Chrome PVC, flame retardant (UL VW-1, FT4)
- ❖ Operating Temperature: -20°C to +105°C
- ❖ Voltage Rating: 300V RMS

Keunggulan aluminum-polyester foil *shielding* dibandingkan *braided shield*:

- ❖ 100% *coverage* (foil) vs 85-95% *coverage* (braid) - superior EMI rejection
- ❖ *Lighter weight* dan lebih *flexible* untuk *routing* di *conduit existing*
- ❖ *Lower cost*: Rp 28.000/meter (Belden 9536) vs Rp 45.000/meter (*braided equivalent*)
- ❖ *Drain wire* memudahkan *grounding* dibanding *braided shield*

2.2 Penelitian atau Referensi yang Relevan

2.2.1. Penelitian Tjahjadi (2022): Sistem Kontrol dan Monitoring Genset

Tjahjadi (2022) dalam penelitiannya yang berjudul "*Design and Implementation of an IoT-Based Generator Set Control and Monitoring System Using ESP8266 and Blynk Application*" yang dipublikasikan dalam Jurnal Kajian Teknik Elektro Vol. 7 No. 1 (Maret 2022)

mengembangkan *prototype* sistem yang dapat mengontrol dan memonitor tegangan, arus, dan daya keluaran *generator set* berbasis *Internet of Things* (IoT) secara *real-time*.

Metodologi penelitian menggunakan relay 5V sebagai pengganti saklar manual untuk kontrol ON/OFF genset, mikrokontroler NodeMCU ESP8266 sebagai unit pemrosesan dan komunikasi WiFi, aplikasi smartphone Blynk sebagai interface monitoring dan kontrol berbasis IoT, serta sensor PZEM-004T sebagai alat ukur digital untuk parameter elektrik (tegangan, arus, daya).

Hasil penelitian menunjukkan sistem berhasil melakukan monitoring dengan jarak maksimal 20 meter melalui jaringan WiFi dengan *average delay* komunikasi 1,2 detik untuk *update data real-time*. Tingkat kesalahan pembacaan: 0,05% untuk tegangan, 0,35% untuk arus, dan 1,01% untuk daya. Sistem dapat dikontrol dan dimonitor melalui *smartphone android* menggunakan aplikasi Blynk.

Keterbatasan penelitian Tjahjadi: Jarak monitoring terbatas hanya 20 meter akibat ketergantungan pada WiFi *range* ESP8266; ketergantungan internet dan *cloud platform* Blynk yang dapat mengalami *downtime* atau *latency*; tidak terintegrasi dengan *genset controller industrial* sehingga memerlukan sensor tambahan; tidak membahas aspek kabel komunikasi dan proteksi EMI/RFI; hanya monitoring parameter elektrik tanpa parameter mekanikal *engine*.

2.2.2. Penelitian Vokasi Unesa (2025): Monitoring Generator ESP32

Penelitian dari Departemen Teknik Elektro, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya (2025) yang berjudul "*Development of an ESP32-based Microcontroller System for Current, Power, and Energy Monitoring of Generator Units*" mengembangkan sistem monitoring parameter elektrik generator untuk sektor industri menggunakan teknologi IoT.

Sistem mengintegrasikan sensor PZEM-016 untuk setiap fase (R, S, T) guna mengukur arus, daya, dan energi pada generator 3-phase. Data ditransmisikan via RS485 to TTL UART untuk diproses oleh ESP32.

Display lokal menggunakan *OLED screen*, sedangkan akses *wireless* dilakukan via *HTML web server* yang di-host oleh ESP32 dalam mode *Access Point*.

Keunggulan penelitian Vokasi Unesa: Implementasi Modbus RTU pada ESP32 menunjukkan kemampuan *microcontroller low-cost* untuk protokol industrial; *WiFi Access Point* mode mengatasi ketergantungan *internet connectivity*; 3-phase monitoring sesuai untuk aplikasi *industrial generator*; kombinasi *local* dan *web-based display* memberikan *redundancy* monitoring.

Keterbatasan penelitian Vokasi Unesa: Masih menggunakan sensor eksternal (PZEM-016) yang memerlukan instalasi tambahan dan kalibrasi; ESP32 memiliki keterbatasan *processing power* untuk aplikasi SCADA skala besar dengan ratusan *parameters*; tidak membahas aspek *cable shielding* dan *EMI mitigation* untuk komunikasi RS485; belum terintegrasi dengan *existing genset controller*.