

Pengukuran Listrik Jaringan Tegangan Rendah Secara Online dengan Mikrokontroler ESP32 di PLN UP3 Surabaya Selatan dan UP3 Surabaya Utara

Online Low-Voltage Network Electrical Measurement with Microcontroller ESP32 in PLN UP3 Surabaya Selatan and UP3 Surabaya Utara

Suhardhika Sih Sudewanto¹, Fuad Hasan² and Munawar A. Riyadi^{3*}

¹PLN UPDL Pandaan,

Jl. Surabaya-Malang KM-50, Pandaan, Pasuruan 67156, Indonesia

²PLN ULP Darmo Permai

Jl. Darmo Permai Utara no.5, Surabaya 60226, Indonesia

³Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro,

Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

suhardhika@gmail.com¹, fuad.hasan1987@gmail.com², munawar@elektro.undip.ac.id^{3*}

Abstrak – Keandalan dan pelayanan prima di sistem jaringan tegangan rendah menjadi tolok ukur kinerja PLN terhadap kepuasan pelanggan. Di sistem jaringan tegangan rendah, kondisi trafo di gardu distribusi perlu dipantau. Kondisi trafo dan pemantauan profil beban berkontribusi pada respon tindakan yang perlu dilakukan untuk mempertahankan kinerja trafo. Saat ini, pemantauan profil beban trafo masih dilakukan secara manual oleh personel pemeliharaan secara periodik, yang sulit memberikan gambaran kondisi secara presisi. Untuk itu, diusulkan pemantauan profil beban trafo secara online di PLN UP3 Surabaya Selatan and UP3 Surabaya Utara. Pemantauan secara online berbasis mikrokontroler ESP32. Dari hasil uji coba, peralatan monitoring dapat memberi informasi profil beban yang detail sesuai urutan waktu, serta nilai benefit to cost ratio > 1. Dengan demikian, implementasi peralatan monitoring online layak untuk diterapkan di gardu distribusi yang memberi kemudahan monitoring kondisi trafo secara real time sekaligus memberikan manfaat efisiensi biaya operasional.

Kata Kunci: profil beban trafo, monitoring online, efisiensi biaya.

Abstract – Reliability and excellent service in the low voltage network system are benchmarks for PLN's performance in terms of customer satisfaction. In a Low Voltage Network System, the transformers status at distribution substations needs to be monitored. Transformer condition and load profile monitoring contribute to the response actions to maintain transformer performance. Currently, monitoring of transformer load profiles is still carried out manually by maintenance personnel periodically, which does not provide a precise picture of network conditions. We propose online monitoring system for transformer load profiles at PLN UP3 South Surabaya and UP3 North Surabaya. The online monitoring process was based on the ESP32 microcontroller. The test results show that monitoring equipment can provide detailed

TELKA, Vol.9, No.2, November 2023, pp. 156~168

ISSN (e): 2540-9123

ISSN (p): 2502-1982

■ 156

load profile information to time sequence and a benefit to cost ratio value of > 1 . Thus, the implementation of online monitoring equipment is suitable for application in distribution substations that makes it easy to monitor transformer conditions in real time while providing efficiency benefits.

Keywords: *transformer load profile, online monitoring, cost efficiency.*

1. Pendahuluan

Gardu distribusi adalah titik penting dalam pelayanan jaringan tenaga listrik yang dikelola oleh PLN. Di gardu distribusi, terdapat trafo yang memberikan supply daya ke konsumen di berbagai jurusan. Untuk mempertahankan kinerja yang baik, PLN perlu melakukan pemantauan dan pemeliharaan terhadap trafo yang berada di gardu distribusi [1].

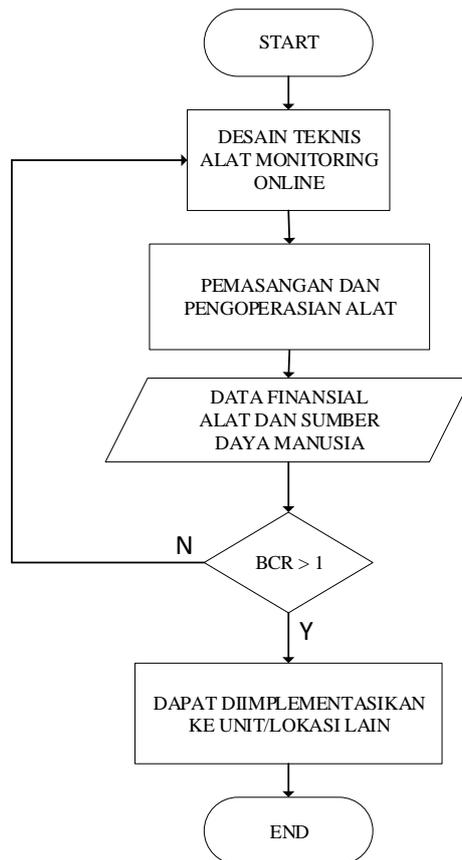
Salah satu faktor yang mempengaruhi kinerja trafo adalah profil beban. Beban di trafo tidak boleh melebihi kapasitas nominal dan beban per fasa harus dijaga agar tetap seimbang. Bila hal ini tidak dijaga, maka akan timbul berbagai masalah, contohnya penurunan kualitas tegangan dan gangguan pada trafo itu sendiri [2]. Permasalahan utama dalam pekerjaan penyeimbangan beban saat ini adalah data yang sedikit terkait pembebanan pada trafo distribusi sehingga tidak adanya referensi atau tolok ukur yang akurat tentang besarnya beban yang akan dipindahkan. Hal tersebut dikarenakan pengambilan data beban dilakukan secara manual oleh tenaga manusia, dengan diambil pada jam tertentu saja (tidak kontinyu). Sehingga hasil dari pekerjaan penyeimbangan beban seringkali tidak maksimal.

Pemantauan beban trafo yang dilakukan oleh PT PLN (Persero) UP3 Surabaya Selatan (SBS) dan UP3 Surabaya Utara (SBU) saat ini masih menggunakan cara manual, yaitu dengan cara mengirim personel pemeliharaan ke lokasi trafo untuk melakukan pengukuran profil beban. Cara ini membutuhkan jumlah sumber daya manusia yang banyak dan durasi kerja yang lama untuk melakukan pengukuran di semua trafo yang ada di wilayah kerja PLN UP3 SBS dan UP3 SBU sehingga meningkatkan biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan. Selain itu terdapat potensi kesalahan pembacaan atau pengukuran dengan data yang insidental. Oleh karena itu, perlu dikembangkan sebuah alat atau sistem yang dapat melakukan pengukuran dan pemantauan beban trafo yang beroperasi secara *online* dan *real time*. Pemantauan *online* adalah suatu metode pemantauan yang dilakukan secara otomatis dan kontinyu dengan menggunakan perangkat elektronik yang terhubung dengan jaringan internet.

Salah satu perangkat elektronik yang dapat digunakan untuk melakukan pemantauan *online* adalah mikrokontroler ESP32. Mikrokontroler ESP32 adalah sebuah chip yang memiliki kemampuan untuk mengolah data dan berkomunikasi dengan jaringan internet melalui modul Wi-Fi dan Bluetooth mode ganda yang terintegrasi di dalamnya [3]. Mikrokontroler ESP32 memiliki kelebihan lain, yaitu harga yang murah, dan mudah didapatkan di pasaran, ukuran yang kecil dan ringan, sehingga mudah dipasang di lokasi trafo, konsumsi daya yang rendah, sehingga hemat energi dan ramah lingkungan dan memiliki banyak pin input/output (I/O) yang dapat digunakan untuk menghubungkan sensor atau perangkat lain [4]. Perangkat berbasis ESP32 banyak digunakan di berbagai bidang kehidupan, contohnya untuk pemantauan kondisi tanah [5], keamanan rumah [6], absensi siswa sekolah [7], pengelolaan tempat sampah [8] dan pelayanan pasien kesehatan [9]. Pemanfaatan ESP32 juga sudah diterapkan untuk pemantauan trafo distribusi tapi hanya terbatas pada pemantauan suhu sambungan kabel di gardu Ngagel yang menitikberatkan pada rancang bangun teknis untuk aplikasi mobile [10]. Sedangkan untuk pemantauan beban trafo rata-rata masih menggunakan mikrokontroler berbasis Arduino yang masih dalam tahap rancang bangun dan belum diimplementasikan di lapangan [11]. Pemantauan *online* di PLN UP3 Surabaya Selatan dan Surabaya Utara sudah menerapkan ESP32 untuk memantau beban trafo sesuai interval waktu yang ditetapkan dan sebagai *early warning system* bagi personel pemeliharaan, dengan memperhitungkan keuntungan secara teknis dan evaluasi finansial dengan metode *Benefit to Cost Ratio* bagi perusahaan.

2. Metode Penelitian

PLN UP3 SBS dan UP3 SBU memanfaatkan alat monitoring berbasis mikrokontroler ESP32 untuk memantau profil beban trafo secara *real time* dan *online*. Peralatan ini diharapkan mampu beroperasi secara kontinyu tanpa kendala dan mampu menggantikan peran operator / tenaga alih daya. Evaluasi akan dilakukan terhadap *availability* peralatan dan penghematan biaya finansial terkait otomasi tersebut. Hasil evaluasi bisa digunakan untuk perencanaan operasi di tahun berikutnya. Flowchart alat monitoring *online* ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart evaluasi alat monitoring *online*.

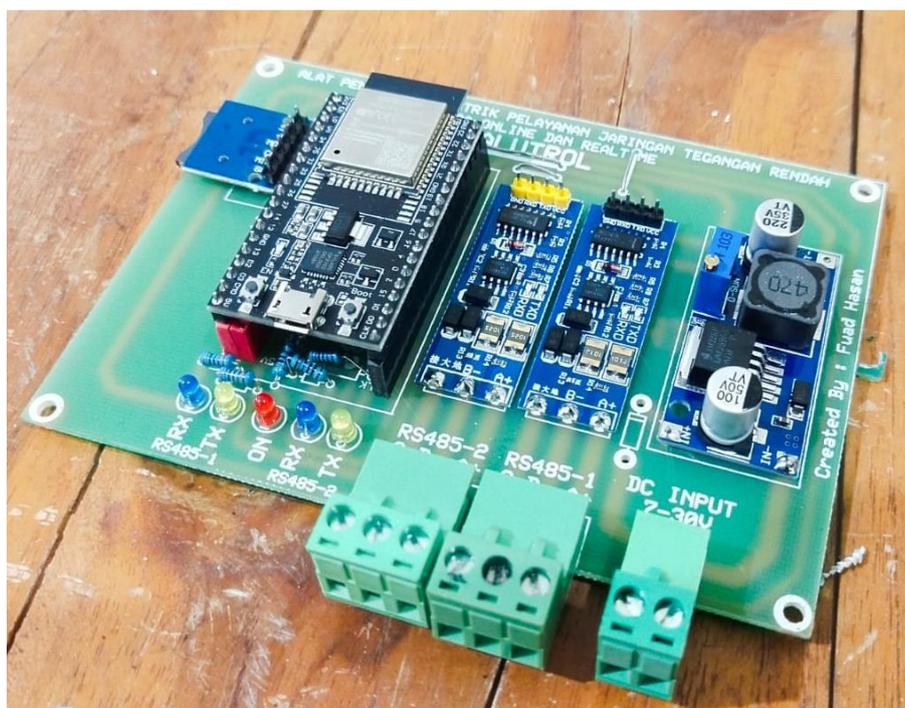
2.1. Desain Teknis Alat Monitoring Online

Alat monitoring *online* terdiri dari 2 bagian, yaitu modul utama dan modul tambahan. Modul utama adalah kit berbasis mikrokontroler ESP32 ditambah dengan beberapa komponen dan aksesoris tambahan, seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi modul utama monitoring *online*

Komponen Utama Modul	Jumlah
Mikrokontroler ESP32	1 pcs
TTL to RS485	2 pcs
Step Down	1 pcs
Modul Mini SD Card	1 pcs
Micro SD 16 GB	1 pcs
Terminal Blok PCB 3P	2 pcs
Terminal Blok PCB 2P	1 pcs

Komponen Utama Modul	Jumlah
Lampu LED	5 pcs
Dioda 3 A	1 pcs
Resistor 1 K Ω	5 pcs
Kapasitor 10 μ F 16 V	1 pcs



Gambar 2. Modul utama alat monitoring *online*.

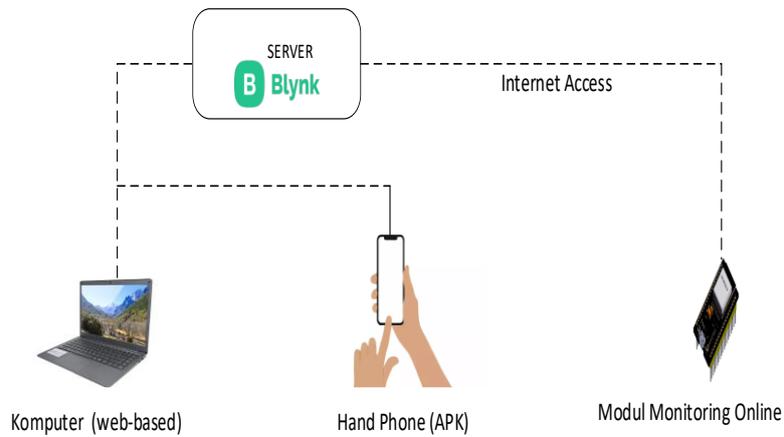
Bentuk fisik dari modul utama monitoring *online* dapat dilihat pada Gambar 2. Sedangkan untuk modul tambahan terdiri dari kelengkapan sensor dan *wiring* untuk mengambil data arus dan tegangan. Komponen modul secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 2.

Konektivitas peralatan modul monitoring *online* ke user menggunakan Blynk-IoT, seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Blynk adalah sebuah platform aplikasi yang dapat digunakan untuk kontrol modul berbasis internet menggunakan smartphone, dimana software nya dapat diunduh di Google play untuk pengguna Android dan Apps Store untuk pengguna iOS [12]. Penambahan komponen pada Blynk Apps dilakukan dengan cara *drag and drop*, sehingga memudahkan penambahan komponen input/output tanpa perlu kemampuan pemrograman Android maupun iOS.

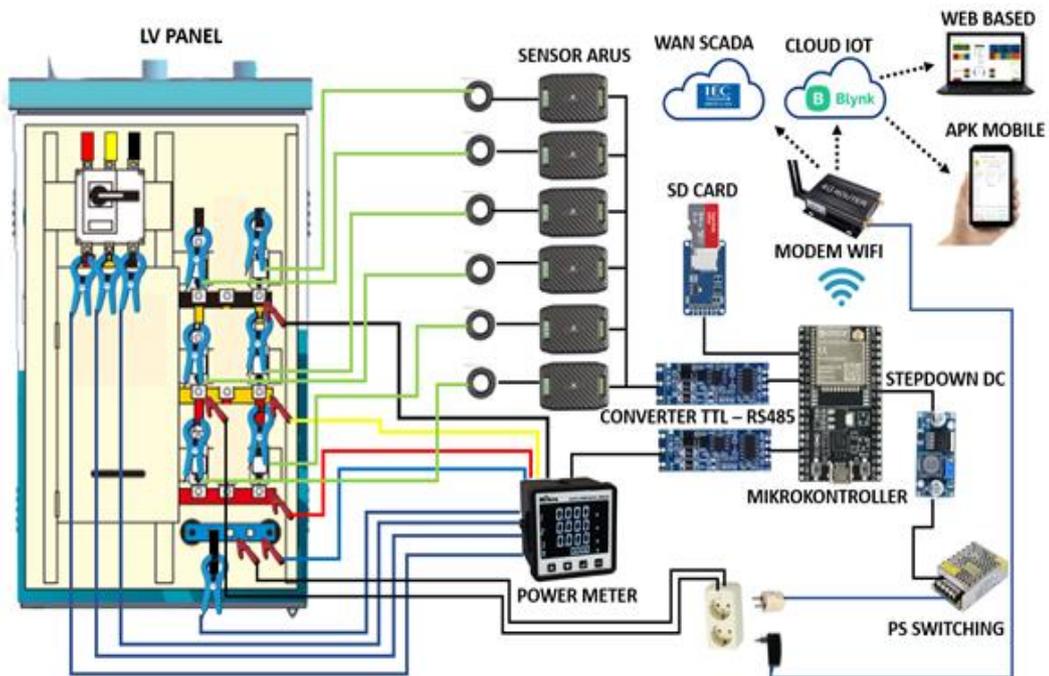
Protokol komunikasi untuk uplink dan downlink bisa menggunakan protokol Modbus atau IEC 60870-5-104. Modbus adalah protokol komunikasi serial yang dipublikasikan oleh Modicon pada tahun 1979 untuk diaplikasikan ke dalam *programmable logic controller* (PLC) [13]. Modbus sudah menjadi standar protokol yang umum digunakan untuk menghubungkan peralatan elektronik industri karena mudah digunakan dan sifatnya terbuka / bebas royalti. Sedangkan IEC 60870-5-104 atau disingkat menjadi IEC 104 adalah protokol IEC 101 (serial) yang mengalami perubahan pada layanan transport, network, link dan physical layer agar bisa menyesuaikan dengan standar interface TCP/IP [14]. Secara umum, blok diagram alat monitoring *online* dapat dilihat pada Gambar 4.

Tabel 2. Spesifikasi modul tambahan monitoring *online*.

Komponen Tambahan	Jumlah
CT Clamp 400/5 A	10 pcs
Modem WiFi	1 pcs
Box Junction	1 pcs
Kabel NYHHY 2,5mm	6 meter
Capit Buaya	6 pcs
Stop Kontak	1 pcs
Power Supply 12V 5A	1 pcs
Power Meter PM2120	1 pcs
PZEM016+CT Split Core	6 pcs
Cable Gland	12 pcs



Gambar 3. Konektivitas modul monitoring *online*.



Gambar 4. Blok diagram alat monitoring *online* pada panel low voltage 2 jurusan.

Cara kerja alat monitoring *online* dibagi menjadi beberapa langkah. Langkah pertama adalah pengambilan data dari panel *low voltage* (LV). Data yang diambil adalah data arus, tegangan, daya, frekuensi dan *power factor* (PF). Untuk data arus per jurusan diambil dengan PZEM016 yang dilengkapi dengan CT Clamp. Data tegangan, daya dan PF diambil dengan Power Meter PM2120 yang dilengkapi dengan CT Clamp dan jepit buaya. Langkah kedua, data yang diperoleh tadi selanjutnya masuk ke ESP32 development kit melalui konverter TTL-RS485. Selanjutnya data tersebut diolah dengan software Arduino IDE. Software ini digunakan untuk menulis program, melakukan *compile* dan *upload* ke memori mikrokontroler ESP32 [15]. Data yang diolah bisa disimpan ke SD card atau diteruskan ke pengguna melalui modem Wi-Fi. Langkah ketiga, pengguna dapat mengakses data dan informasi dengan handphone (APK) ataupun komputer (web-based) setelah melewati server Blynk-IoT.

Untuk memastikan alat bekerja dengan baik, perlu dilakukan kalibrasi dan pengujian protokol komunikasi. Kalibrasi dilakukan dengan membandingkan pembacaan arus dan tegangan dari sensor arus pada alat dengan alat ukur lain. Standar kalibrasi yang dipakai adalah *Current Coil* dan *AC Voltage Current Standard*. Kalibrasi dilakukan di Laboratorium PENS-ITS. Pengujian protokol komunikasi dilakukan pada protokol Modbus RTU dan IEC 104. Pengujian protokol Modbus RTU bisa dilakukan dengan menggunakan software *Modbus Poll* sebagai simulator [13]. Contohnya adalah pengujian dari power meter ke modul utama alat monitoring *online*. Protokol komunikasi IEC 104 diuji untuk mengetahui kesiapan konektivitas modul utama ke sistem SCADA. Pengujian dilakukan dengan software *ASE2000* ke master station SCADA PLN. Selain itu, data juga dipastikan bisa terkirim ke handphone atau komputer pengguna melalui aplikasi Blynk. Data yang terkirim harus bisa di-*export* menjadi file dengan ekstensi *.csv*.

2.2. Data Finansial Alat dan Sumber Daya Manusia

Untuk mengetahui keuntungan pemakaian alat monitoring *online*, perlu diketahui terlebih dahulu biaya investasi pembuatan alat dan biaya monitoring secara manual oleh regu inspeksi. Biaya investasi pembuatan alat terdiri dari biaya investasi awal dan biaya langganan paket data dan sewa server cloud selama setahun. Sedangkan biaya monitoring manual adalah biaya yang dikeluarkan jika menambah personel atau pegawai untuk mencatat beban secara manual. Setelah diketahui semua elemen biaya, baru dievaluasi apakah pemakaian alat dikatakan layak untuk diimplementasikan di unit operasional. Biaya investasi alat dan biaya monitoring secara manual dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Rincian biaya investasi alat.

Nama Barang	Jumlah (lot)	Harga (Rp)	
		Satuan	Total
Komponen Utama Modul Monitoring <i>Online</i>	1	313.000	313.000
Komponen Tambahan Modul Monitoring <i>Online</i>	1	14.265.000	14.265.000
Paket Data Modem GSM per bulan	12	25.000	300.000
Langganan Cloud IoT 1 tahun versi reguler	1	1.000.000	1.000.000
Jasa Desain Web dan Aplikasi	1	1.000.000	1.000.000
Total Biaya			16.878.000

Tabel 4. Rincian biaya regu inspeksi pelayanan teknik (YANTEK).

Nama	Jumlah (orang/lot)	Harga (Rp)	
		Gaji/Biaya per bulan	Total
Regu Inspeksi YANTEK Gardu Distribusi	2	6.567.399	13.134.798
Sewa motor operasional (roda 2)	1	1.053.275	1.053.275
Jatah BBM (roda 2)	1	780.000	780.000
Total Biaya			14.968.073

*Area Surabaya

2.3. Kriteria Evaluasi Finansial

Evaluasi finansial dilakukan dengan metode *Benefit to Cost Ratio* (BCR). Metode ini secara umum membandingkan keuntungan yang diperoleh dibandingkan dengan biaya yang dikeluarkan [16]. Keuntungan (*benefit*) bisa ditafsirkan secara luas, diantaranya adalah keuntungan usaha, penghematan, optimasi biaya atau pengurangan kerugian. Sedangkan biaya (*cost*) diartikan sebagai pengeluaran yang terjadi akibat dari tindakan yang menghasilkan keuntungan diatas. Metode ini banyak dipakai pada tahap perencanaan investasi, atau sebagai analisis tambahan untuk memvalidasi hasil evaluasi yang telah dipakai sebelumnya. Persamaan dari metode ini ditulis sebagai berikut.

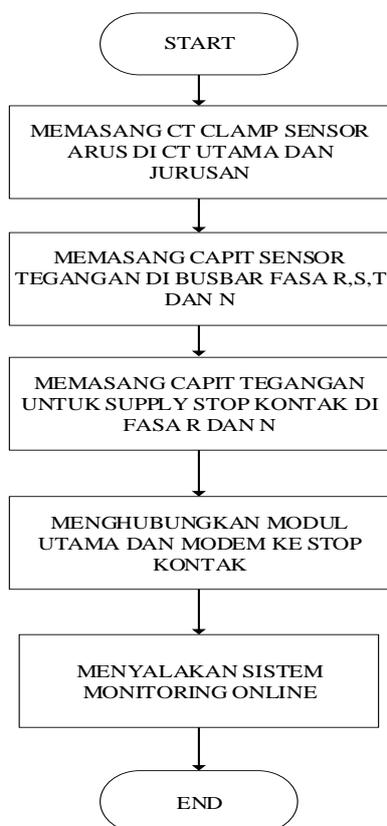
$$\text{Benefit to Cost Ratio (BCR)} = \frac{PWB}{PWC}, \quad (1)$$

dimana *PWB* adalah *Present Worth Benefit* dan *PWC* adalah *Present Worth Cost*. Bila nilai $BCR \geq 1$, maka investasi layak dilakukan. Tapi bila nilai $BCR \leq 1$, investasi tersebut tidak layak untuk diteruskan [17].

3. Hasil dan Analisis

3.1. Pemasangan dan Pengoperasian

Setelah melalui kalibrasi dan pengujian, alat monitoring *online* dipasang di lapangan. Pemasangan dilakukan di beberapa gardu distribusi yang dianggap berpotensi tinggi mengalami ketidakseimbangan beban di area kerja PLN UP3 SBS dan SBU. Untuk tahap pertama, pemasangan dilakukan di 1 gardu distribusi kritikal di wilayah kerja PLN UP3 SBS, yaitu PLN ULP Darmo Permai, PLN ULP Ngagel, PLN ULP Rungkut, PLN ULP Gedangan dan PLN ULP Dukuh Kupang. Sedangkan untuk PLN UP3 SBU dipasang di PLN ULP Ploso. Alur instalasi alat monitoring *online* dan implementasi di lapangan ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6.

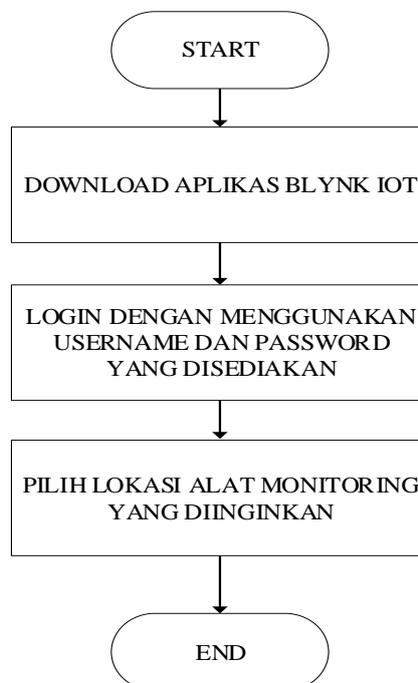


Gambar 5. Alur pemasangan alat monitoring *online*.

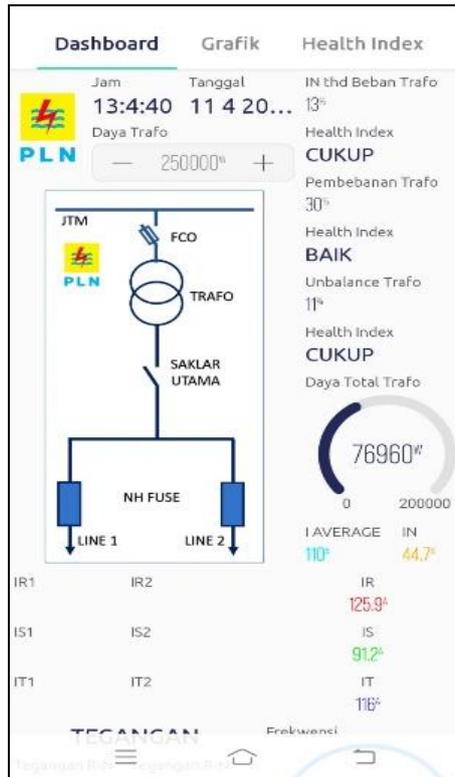


Gambar 6. Instalasi alat monitoring *online* di Site PLN UP3 SBS.

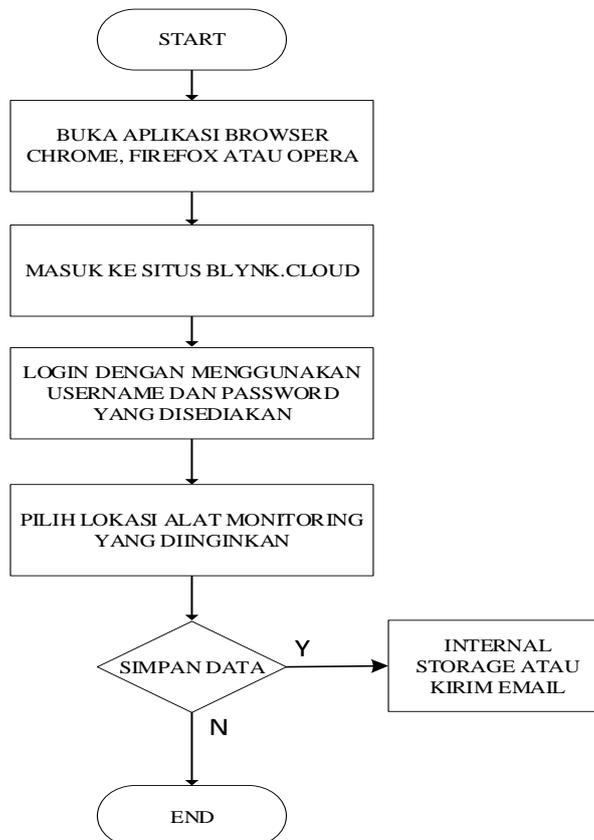
Sedangkan pengoperasian alat bisa dilakukan melalui aplikasi di handphone atau pun melalui komputer (*web-based*). Pengoperasian dilakukan melalui jarak jauh, tanpa perlu mendatangi gardu distribusi yang memerlukan pemantauan. Alur pengoperasian melalui handphone dan komputer serta tangkapan di layar, dapat dilihat di Gambar 7 sampai dengan Gambar 10. Informasi yang diperoleh dari alat monitoring *online* ini adalah tegangan trafo, arus beban trafo (fasa-netral dan fasa-fasa), daya trafo, *unbalance* trafo dan *health index* trafo. Informasi terkait *unbalance* trafo dan *health index* trafo bisa dijadikan sebagai *early warning system* bagi pengguna.



Gambar 7. Alur pengoperasian alat melalui handphone.



Gambar 8. Tangkapan layar monitoring *online* di handphone.



Gambar 9. Alur pengoperasian alat melalui komputer.

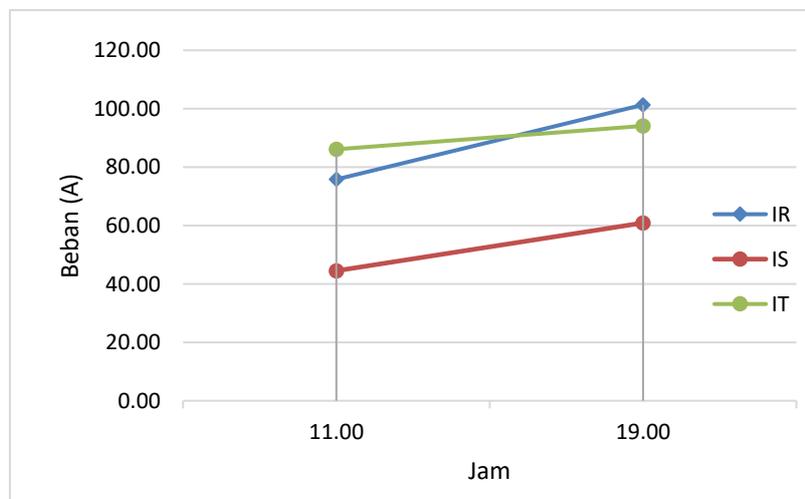
Untuk pengoperasian melalui komputer, informasi yang disampaikan masih sama, tapi ada tambahan opsi penyimpanan data di lokal ataupun dikirim ke email. Untuk mempermudah evaluasi beban, pengguna dapat mengunduh data dalam bentuk file dengan ekstensi .csv. Pengambilan secara *online* dapat dikonfigurasi per 3 detik, per menit, per jam ataupun per hari.

Dilihat dari sudut pandang data, pemanfaatan alat monitoring *online* memberikan lebih banyak *sampling* data terkait sistem jaringan tenaga listrik, jika dibandingkan dengan pengambilan data secara manual. Contohnya saat pengambilan beban di fasa R, S dan T. Perbandingan tersebut dapat dilihat pada Gambar 11 dan Gambar 12.

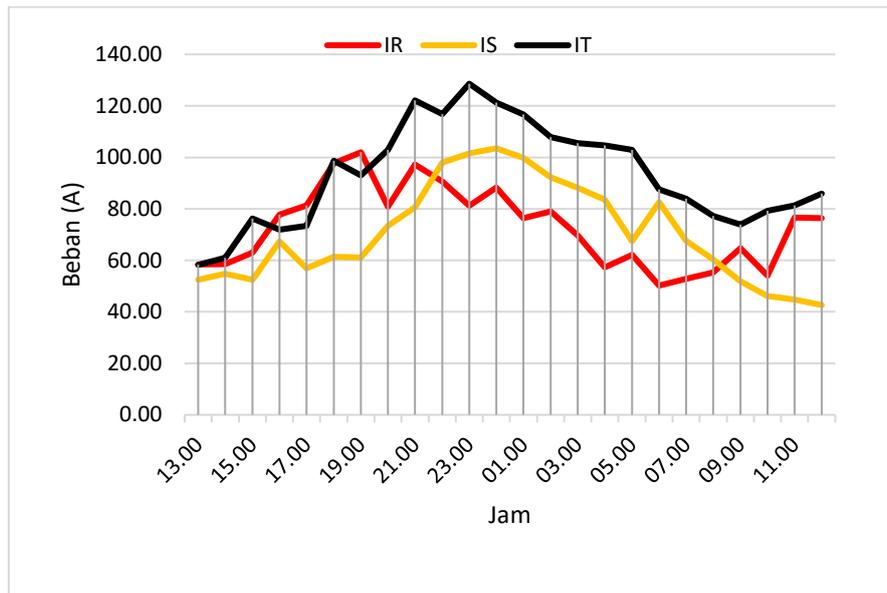
Sesuai Gambar 12, pemantauan trafo secara *online* memberikan peluang lebih banyak untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan, contohnya analisis *unbalance* trafo per jam. Informasi tersebut bisa langsung dimunculkan di layar monitoring secara otomatis. Secara umum perbandingan antara pengambilan data secara *online* dan manual, dapat dilihat pada Tabel 5.



Gambar 10. Tangkapan layar monitoring *online* di komputer.



Gambar 11. Pengambilan data beban fasa R,S,T secara manual (pada jam 11.00 dan 19.00).



Gambar 12. Pengambilan data beban fasa R, S, T dengan alat monitoring *online*.

Tabel 5. Perbandingan pengambilan data trafo secara *online* dengan manual.

Metode Online	Metode Manual
Pengambilan data dilakukan secara otomatis melalui alat berbasis ESP32 yang terpasang di site	Pengambilan data dilakukan oleh regu inspeksi dengan menggunakan tang ampere dan AVO meter dengan mengunjungi setiap site
Sampling data lebih banyak (kontinyu) dan bisa diambil sewaktu-waktu	Data diambil sesuai jadwal yang telah ditetapkan oleh manajemen, yaitu 2 kali sehari, saat beban puncak siang dan beban puncak malam dan data diasumsikan linier diantara kedua waktu tersebut
Informasi yang diperoleh dari data lapangan bisa dibuat trending dan bisa berperan sebagai <i>early warning system</i>	Informasi harus diolah dan dianalisis secara manual oleh petugas penyelia atau supervisor
Risiko kecelakaan kerja minimal karena tidak ada petugas di lapangan	Risiko kecelakaan kerja masih cukup tinggi, karena ada petugas di lapangan

Dengan merujuk pada Tabel 5, pemantauan data secara *online* dapat memberikan informasi lebih banyak dan sangat mendukung prinsip keamanan kerja di instalasi tenaga listrik. Dengan demikian pemantauan *online* ini sangat direkomendasikan untuk dapat diterapkan di titik atau gardu lain.

3.2. Evaluasi Finansial Investasi Peralatan

Evaluasi finansial menggunakan metode *Benefit to Cost Ratio* (BCR). Untuk menghitung nilai BCR, dipergunakan data sebagai berikut

- a. Biaya investasi pembuatan alat monitoring per site sebesar Rp 16.878.000,- (Tabel 4). Dengan demikian total biaya pemasangan alat dan sewa server termasuk paket data selama 1 tahun di 6 titik gardu distribusi adalah 6 titik x Rp 16.878.000,- = Rp 101.268.000,-

- b. Biaya investasi regu inspeksi lengkap dengan fasilitas kendaraan dan BBM untuk melaksanakan monitoring secara manual per bulan sebesar Rp 14.968.073,-. Total biaya per tahun adalah 12 bulan x Rp 14.968.073,- = Rp 179.616.876,-

Dengan asumsi bahwa investasi pembuatan alat adalah *Present Worth Cost (PWC)* dan penghematan karena tidak melakukan biaya sewa regu inspeksi sebagai *Present Worth Benefit (PWB)*, maka sesuai persamaan (1):

$$\begin{aligned} \text{Benefit to Cost Ratio (BCR)} &= \frac{179.616.876}{101.268.000} \\ &= 1,77 \end{aligned}$$

Dengan nilai $BCR \geq 1$, maka investasi pembuatan alat monitoring *online* layak dilakukan.

4. Kesimpulan

Pemasangan dan pengoperasian alat monitoring trafo *online* berbasis ESP32 yang sudah diterapkan di wilayah kerja PLN UP3 SBS dan PLN UP3 SBU memberikan keuntungan dari sisi teknis berupa banyaknya sampling data yang dapat diolah menjadi informasi dan sekaligus menurunkan risiko kecelakaan dari sisi keselamatan tenaga kerja. Selain itu, melalui perhitungan dengan metode *Benefit to Cost Ratio (BCR)*, penerapan alat ini dianggap layak secara ekonomi sehingga bisa dilakukan di unit atau wilayah kerja yang lain. Untuk pengembangan ke depan, alat ini bisa diintegrasikan dengan sistem *Supervisory Control and data Acquisition (SCADA)* distribusi. Selain itu, alat monitoring ini juga digabungkan dengan sistem *Advanced Meter Infrastructure (AMI)* yang dimiliki oleh PLN untuk meningkatkan kualitas pengelolaan kelistrikan khususnya di jaringan tegangan rendah.

Referensi

- [1] T. Setiawan, Syukri, and Muliadi, "Kajian Pemeliharaan Trafo Distribusi Menggunakan Metode Condition Based Maintenance (CBM)," *Aceh J. Electr. Eng. Technol.*, vol. 2, no. 2, pp. 18–23, 2022.
- [2] Z. Sya'roni and T. Rijanto, "Analisis Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi 20 kV dan Solusinya Pada Jaringan Tegangan Rendah," *J. Tek. Elektro*, vol. 08, no. 01, pp. 173–180, 2019.
- [3] T. Anwar, *Internet of Things : Panduan Pengenalan Dasar*. Bandung: Common Room Network Foundation, 2021.
- [4] S. Spanulescu, *ESP32 Programming for Internet of Things*, Second Edi. Sever Spanulescu, 2020.
- [5] A. Thoriq, L. Hasta Pratopo, R. Mulya Sampurno, and S. Hisyam Shafiyullah, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban Tanah," *J. Keteknikan Pertan.*, vol. 10, no. 3, 2022, doi: 10.19028/jtep.010.3.268-280.
- [6] D. M. Sepudin and S. Abdullah, "Sistem Keamanan Pintu Rumah Berbasis Internet of Things Berbasis NodeMCU ESP32 dan Telegram," *J. RESTIKOM Ris. Tek. Inform. dan Komput.*, vol. 4, no. 3, 2023, doi: 10.52005/restikom.v4i3.99.
- [7] T. Kurnialensya and P. C. Saputra, "Absensi Sistem Monitoring Kehadiran Siswa Menggunakan Mikrokontroler Berbasis Web," *Rabit J. Teknol. dan Sist. Inf. Univrab*, vol. 8, no. 1, 2023, doi: 10.36341/rabit.v8i1.3039.
- [8] A. Imran and M. Rasul, "Pengembangan Tempat Sampah Pintar Menggunakan Esp32," *J. Media Elektr.*, vol. 17, no. 2, 2020.
- [9] S. Amrulloh and H. K. Wardana, "Rancang Bangun Robot Pelayan Pasien Berbasis Internet of Things (Iot)," *Rekayasa*, vol. 15, no. 3, 2022, doi: 10.21107/rekayasa.v15i3.16477.
- [10] C. F. Saputri, K. E. Susilo, and M. N. Arifin, "Monitoring Suhu Non-Contact Sambungan Kabel Dengan Trafo Berkapasitas 20 kV Pada Gardu Induk Ngagel Berbasis IoT,"

- SENADA. 2021.
- [11] A. U. Nasution and S. Sukardi, "Alat Monitoring Beban Trafo Tiga Phasa Menggunakan Arduino Berbasis Web," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 1, no. 2, 2020, doi: 10.24036/jtein.v1i2.32.
 - [12] A. Gehlot, R. Singh, L. R. Gupta, and B. Singh, *Cook Book for Mobile Robotic Platform Control*, First Edit. New Delhi: BPB Publication, 2019.
 - [13] T. Tosin, "Perancangan dan Implementasi Komunikasi RS-485 Menggunakan Protokol Modbus RTU dan Modbus TCP Pada Sistem Pick-By-Light," *Komputika J. Sist. Komput.*, vol. 10, no. 1, 2021, doi: 10.34010/komputika.v10i1.3557.
 - [14] M. Petr, "Description and analysis of IEC 104 Protocol," *Fac. Inf. Technol.*, 2017.
 - [15] S. Saini and M. Kaur, *Arduino Solutions Handbook*. London: BPB Online, 2023.
 - [16] J. H Pieterse, *Simple Side of Financial Management*. JEST My Publishing, 2018.
 - [17] I. Sururi and H. R. Agustapraja, "Studi Kelayakan Investasi Perumahan Menggunakan Metode Benefit Cost Ratio," *J. Tek.*, vol. 18, no. 1, 2020, doi: 10.37031/jt.v18i1.68.