

SISTEM MONITORING TRAFU DISTRIBUSI PT. PLN(Persero) BERBASIS IoT

Budi Eko Prasetyo¹, Widhy Hayuhardhika Nugraha Putra^{*2}, Dahnia Syauqy³, Adhitya Bhawiyuga⁴, Sigi Syah Wibowo⁵, Ferdian Ronilaya⁶, Indrazno Siradjuddin⁷, Supriatna Adhisuwignjo⁸

^{1,5,6,7,8} Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang, ^{2,3,4} Fakultas Ilmu Komputer Universitas Brawijaya
Email: ¹ budi.eko@polinema.ac.id, ² widhy@ub.ac.id, ³ dahnia187@ub.ac.id, ⁴ bhawiyuga@ub.ac.id,

⁵ sigi.wibowo@polinema.ac.id, ⁶ ferdian@polinema.ac.id, ⁷ indrazno@polinema.ac.id, ⁸ supriatna@polinema.ac.id

*Penulis Korespondensi

(Naskah masuk: 22 April 2019, diterima untuk diterbitkan: 14 Januari 2020)

Abstrak

Paper ini memperkenalkan sebuah sistem manajemen Trafo Distribusi jaringan tegangan rendah (JTR) milik PT. PLN (Persero) yang disebut dengan *Distributed Transformer Management System (DTMS)*. Trafo Distribusi merupakan aset strategis PT. PLN (Persero) karena keberlangsungan umur trafo distribusi adalah sangat penting dalam menjaga layanan penyediaan energi kelistrikan kepada pelanggan, dan sebagai sumber pendapatan utama. Jumlah aset yang besar dan luasnya jangkauan pemasangan trafo distribusi menuntut PT. PLN (Persero) berinvestasi lebih untuk memantau kondisi Trafo agar tidak terjadi kerusakan dan mengurangi biaya perawatan. Oleh karena itu peran teknologi informasi saat ini menjadi salah satu investasi yang paling *feasible* bagi PT. PLN (Persero) dalam menjaga performa aset strategis tersebut. DTMS yang dibangun terdiri atas: (1) perangkat *embedded system* yang berfungsi untuk melakukan pengukuran dan pengiriman data, (2) perangkat lunak *Web Service* yang berfungsi untuk menerima data dari *embedded system* dan (3) perangkat lunak berbasis web untuk penyajian data dan pengelolaan data untuk menjadi sebuah *Decision Support System (DSS)*. DTMS ini dibangun untuk memberikan fungsi peringatan dini terhadap anomali parameter trafo seperti *overload*, *overvoltage* dan *black out events*. Disamping itu, suhu operasi trafo juga menjadi parameter yang menggambarkan kondisi trafo dalam status aman, peringatan atau berbahaya. *Embedded system* yang dibangun akan mengukur kondisi trafo, kemudian dengan menggunakan protokol komunikasi RF 2,4 GHz dan GPRS, *embedded system* akan menampung dan mengirim data ke server melalui protokol HTTPS dengan antarmuka pemrograman yang disusun menggunakan format JSON. Setelah mendapatkan data, DTMS akan melakukan perhitungan untuk mendapatkan rekomendasi optimalisasi trafo berupa penyeimbangan, perawatan atau peningkatan daya.

Kata kunci: DTMS, trafo distribusi, PLN, monitoring, IoT, Web Services, RF, GPRS

IOT-BASED DISTRIBUTION TRANSFORMER MONITORING SYSTEM AT THE PT. PLN (Persero)

Abstract

This paper introduces a Low Voltage Distribution Transformer (JTR) Management owned by PT. PLN (Persero) which is also called the Distributed Transformer Management System (DTMS). Distribution transformer is a strategic asset of PT. PLN (Persero) because it's lifecycle is highly important for PT. PLN (Persero) primarily in delivering electrical energy to customers, and of course as a main source of PT. PLN's revenue. The large amount of assets and the broad range of installation of distribution transformers requires PT. PLN (Persero) invests more to monitor and maintain the condition of the Trafo in order to avoid unplanned damage and reduce the cost of unplanned maintenance. Therefore the role of information technology is currently one of the most feasible investment for PT. PLN (Persero) in maintaining the performance of this strategic assets. The DTMS consists of: (1) embedded system devices for data measurement and transmission, (2) Web Services software for receiving data from embedded systems, and (3) Web-based software for data presentation and data management for Decision Support System (DSS) purpose. The DTMS is built to provide early warning functionality to the transformer parameter anomalies such as *overload*, *overvoltage* and *blackout events*. In addition, the transformer operating temperature is also an important parameter that describes the condition of the transformer in safe state, warning state or danger state. The embedded system will measure the transformer's general conditions, then using the 2.4 GHz RF communications protocol and GPRS, then it will collect and transfer data to the server via the HTTPS protocol with a programming interface compiled using the JSON format. After getting the data, DTMS will do the calculation to get recommendation of transformer optimization such as balancing, maintenance or power uprating.

Keywords: DTMS, distribution transformer, monitoring, IoT, Web Services, RF, GPRS

1. PENDAHULUAN

Ketersediaan tenaga listrik sangat penting baik untuk konsumsi rumah tangga maupun industri. Penting bagi sebuah pengelola tenaga listrik untuk memastikan ketersediaan tenaga listrik dalam jumlah yang cukup dan *Power Quality* sesuai standar. Oleh karena itu, penting bagi sebuah pengelola tenaga listrik untuk menemukan pengelolaan optimal yang berfokus kepada aspek teknis dan efektivitas biaya atau manajemen aset (Khuntia, et al., 2015). *National Interconnected System* yang merupakan industri tenaga listrik di Kolombia menekankan pentingnya manajemen aset tenaga listrik, meningkatkan kualitas layanan serta keandalan infrastruktur yang dimiliki (German, et al., 2014).

Salah satu aset yang paling penting dan memerlukan investasi terbesar dalam bisnis ini adalah trafo distribusi. Manajemen trafo yang efektif memiliki tujuan untuk mencapai keseimbangan antara keandalan sistem, biaya operasi dan biaya perawatan. Kegagalan pada trafo seperti *overload*, *over voltage* dan *black out events* menimbulkan efek yang signifikan pada proses bisnis penyediaan listrik. Kegagalan yang terjadi pada trafo tidak bisa diatasi hanya dengan melakukan *monitoring* dan perawatan pada waktu-waktu tertentu. Kenaikan suhu yang berlebihan sudah dikenal sebagai faktor yang mempengaruhi turunnya kemampuan trafo. Oleh karena itu, penting untuk melakukan perawatan yang tepat pada trafo untuk menjamin keandalan dan ketersediaan dari sistem distribusi tenaga listrik secara keseluruhan. Namun, proses ini membutuhkan waktu dan biaya yang tidak sedikit. Masalah lain yang umum dihadapi dalam perawatan trafo adalah data yang tidak tersedia, tersebar dan tidak terstruktur (Suwanasri & Suwanasri, 2009). Ketersediaan data yang berkualitas dan lengkap dapat mendukung pengambilan keputusan terkait kondisi trafo.

Condition-Monitoring (CM) adalah pendekatan yang cocok untuk diterapkan dalam masalah monitoring kondisi trafo. Sistem ini mampu menekan biaya perawatan dalam usaha menjaga kehandalan dan ketersediaan layanan dengan cara mendeteksi kegagalan lebih awal, mengurangi kemungkinan terjadinya kegagalan, dan mendeteksi penyebab kegagalan. Akan tetapi, pendekatan ini memerlukan ketersediaan alat untuk melakukan komunikasi data, analisis data dan mengambil keputusan (Abu-Elanien & Salama, 2010).

Hal ini juga penting untuk diterapkan di Indonesia. Trafo Distribusi merupakan aset strategis PT. PLN karena kelangsungan hidup trafo distribusi merupakan denyut jantung utama dalam menjaga layanan kepada pelanggan. Hal ini tentunya juga mempengaruhi pendapatan (*revenue*) dari PT. PLN. Jumlah aset yang besar dan luasnya jangkauan pemasangan Trafo Distribusi menuntut PT. PLN melakukan investasi sumberdaya lebih untuk memantau dan menjaga kondisi Trafo Distribusi agar

tidak terjadi kerusakan dan mengurangi biaya perawatan yang tidak diperlukan.

Saat ini teknologi informasi memiliki peranan yang besar dalam aktivitas manusia. Teknologi informasi ikut andil dalam mendukung aktivitas personal, bisnis hingga manajemen organisasi (Kadir, 2014). Perkembangan teknologi yang dapat dimanfaatkan untuk mengimplementasikan monitoring kondisi trafo adalah sistem informasi dan *Internet of Things* (IoT). IoT merupakan paradigma telekomunikasi nirkabel yang memanfaatkan objek seperti perangkat bergerak, sensor atau perangkat lain untuk saling berkomunikasi dan mencapai tujuan tertentu (Atzori, et al., 2010). Teknologi ini dapat dimanfaatkan untuk mendapatkan data dan berkomunikasi dengan perangkat lain melalui jaringan internet. Data yang diperoleh kemudian dapat diolah menjadi sebuah informasi yang berguna melalui sebuah sistem informasi. Kebutuhan untuk melakukan pendeteksian kegagalan lebih awal pada trafo dapat dipenuhi dengan dibangunnya *online monitoring* dan *early warning system* (EWS). EWS pada dasarnya merupakan sistem yang mampu melakukan monitoring, analisis serta interpretasi hasil secara *real-time*.

Oleh karena itu, pada penelitian ini diusulkan untuk membangun sebuah sistem *online monitoring* yang juga dilengkapi dengan fitur *early warning* untuk trafo distribusi. Data akan dikirimkan secara periodik dari tiap trafo dan dianalisis lebih lanjut pada sistem untuk membantu PT. PLN dalam pengambilan keputusan pada proses manajemen trafo. Sistem yang disebut dengan *Distributed Transformer Management System* (DTMS) ini menggunakan pendekatan *web service* RESTful untuk menjembatani komunikasi data antara platform *embedded system* dengan *server*.

2. ARSITEKTUR SISTEM

DTMS yang dibangun pada penelitian ini terdiri atas *embedded system* yang berfungsi untuk melakukan pengukuran parameter trafo seperti tegangan, arus, suhu dan melakukan perhitungan sewaktu untuk beberapa parameter seperti arus netral, ketidakseimbangan beban, dan *Total Harmonic Distortion* (THD). Spesifikasi trafo distribusi yang menjadi target sistem ini seperti yang dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Trafo

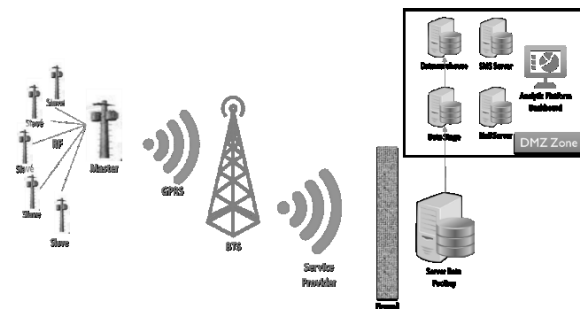
Uraian	Spesifikasi
Kapasitas Trafo	200 kVA
Merk	STARLITE
Jumlah Fasa	3 (R,S,T)
Tahun Pembuatan	1991

Embedded system yang dibangun memiliki beberapa versi menyesuaikan kebutuhan fitur pengukuran dan pilihan protokol komunikasi yang akan menyesuaikan dengan kondisi Jaringan Tegangan menengah (JTR) PT. PLN (Persero).

Pilihan protokol komunikasi yang dibangun adalah: (1) *Embedded System Master* dengan protokol komunikasi GPRS yang mampu mengirim data ke server, (2) *Embedded System Slave* yang mampu berkomunikasi dengan *Embedded System Master* atau *slave* lainnya menggunakan modul komunikasi RF 2,4 GHz dengan topologi jaringan *Mesh*. Topologi jaringan *Mesh* diperlukan untuk menyesuaikan dengan topologi jaringan gardu distribusi PT. PLN(Persero) yang cenderung membentuk *single line diagram*.

Setelah data terkumpul pada perangkat *master*, kemudian data akan dikirimkan ke server menggunakan modul GPRS pada protokol HTTPS. Agar *embedded system* dapat berkomunikasi dengan perangkat lunak *server*, digunakan konsep sensor *Data as a Service* (SDS). SDS telah terbukti tepat untuk sistem *Data-Centric Service* (Jia Zhang, 2013).

Untuk itu, pada penelitian ini digunakan *REST-base Web Service* untuk menyediakan sarana komunikasi antara perangkat *embedded system* yang dibangun menggunakan mikrokontroler ATmega328 dengan aplikasi server yang dibangun dengan *platform* PHP. Arsitektur sistem DTMS dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Arsitektur Sistem

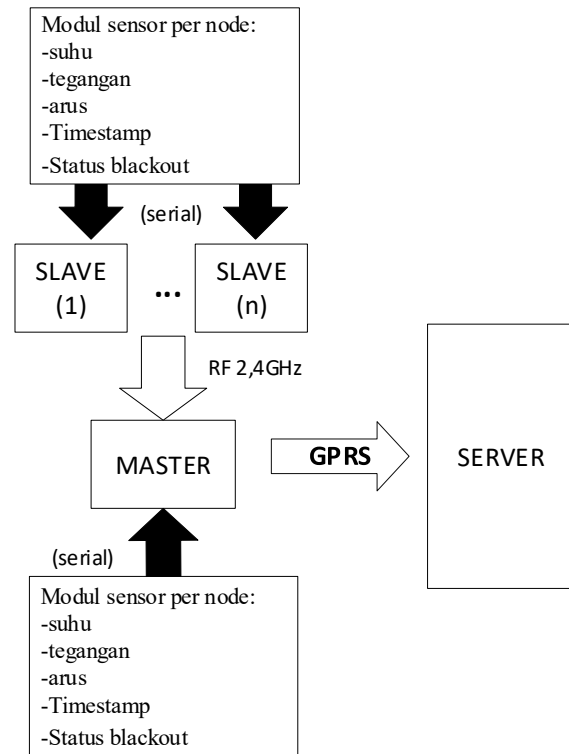
2.1 Embedded System dan Sensor

Blok diagram *embedded system* pada DTMS disusun dengan arsitektur seperti pada Gambar 2.

Sensor yang digunakan pada penelitian ini adalah sensor tegangan (V), arus (I) dan suhu. Tambahan parameter berupa status *blackout* dan juga *timestamp* (waktu akuisisi data sensor) juga ditambahkan kepada format data yang dikirimkan. Perangkat sensor tersebut digunakan untuk menangkap parameter trafo distribusi dan mengirimkannya secara serial kepada *node slave* maupun *node master*. Spesifikasi perangkat utama *embedded system* yang dibangun adalah sebagaimana yang ditunjukkan dalam Tabel 2.

Secara umum, komponen perangkat yang terdapat dalam *node slave* tidak jauh berbeda dengan *node master*. Keduanya memiliki komponen modul sensor dan juga modul nRF24L01 untuk komunikasi antar *node*. Yang membedakan, pada *node master* terdapat perangkat SIM800L untuk mengirim data ke *server*, yang mana tidak terdapat pada *node slave*.

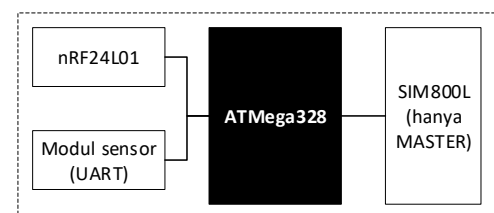
Blok diagram komponen *node* ditunjukkan dalam Gambar 3.



Gambar 2. Arsitektur *Embedded System*

Tabel 2. Spesifikasi Perangkat utama *embedded system*

Jenis	Deskripsi	Spesifikasi
Mikrokontroler	Pemroses utama	ATMega328
Modul comm 1	Antar node	nRF2401
Modul comm 2	Master-server	SIM800L



Gambar 3. Blok diagram komponen *node Embedded System*

Disamping pengukuran menggunakan sensor, *node master* akan melakukan perhitungan terhadap beberapa parameter yang nantinya akan dikirim kepada server, yaitu:

- Load Demand**
Merupakan penghitungan pembebanan pada trafo yang berasal dari parameter tiga fasa arus (I), tegangan (V) dan *power factor* (PF).
- Unbalanced Current & Unbalanced Voltage**
Merupakan penghitungan parameter ketidak seimbangan arus (I) dan tegangan (V) pada ketiga fasa.
- Regulasi Tegangan**
Merupakan penghitungan simpangan tegangan pada tiap fasa terhadap tegangan standar 220 V.

2.2 Skema komunikasi data

Komunikasi data menggunakan RF 2,4 GHz dan GPRS. Skema komunikasi data yang dibangun adalah sebagai berikut:

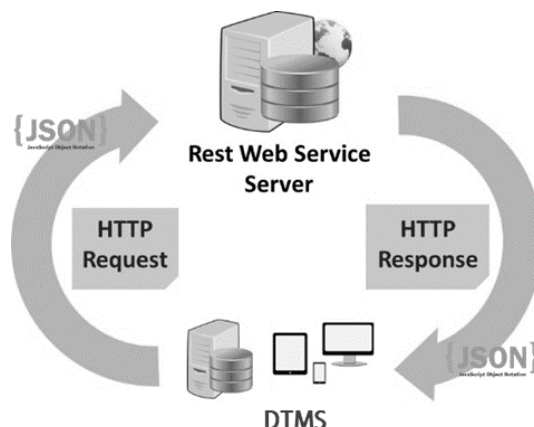
- Media komunikasi antara *node slave* dan *node master* menggunakan RF 2,4 GHz. Protokol komunikasi dikonfigurasi untuk memungkinkan *slave* mencari *master*. Setelah antara *node* terjalin hubungan, selanjutnya *node slave* akan mengirim data *sensing* kondisi trafo di tempatnya kepada *node master*.
- Setelah *node master* menerima data hasil *sensing* dari beberapa *node* trafo *slave*, maka secara periodik *node master* akan mengirimkan data tersebut kepada *server* dengan komunikasi GPRS menggunakan SIM800L. Tidak hanya mengirim secara periodik, *node master* juga dikonfigurasi untuk mengirim data ketika terjadi kondisi *anomaly* (A) maupun *danger* (D).

2.3 Web Services

DTMS memiliki fungsi untuk memberikan *early warning* terhadap anomali parameter trafo yang tidak sesuai standar. Agar dapat saling berkomunikasi DTMS menggunakan konsep *Sensor Data as a Service* (SDS) dengan *REST-Base Web Service*. Skema *web service* yang dibangun dalam sistem DTMS ini dijelaskan pada Gambar 3.

2.4 Pengelolaan data pada server

Standar yang digunakan adalah standar yang mengacu pada SPLN dan standar IEEE, seperti yang dijelaskan pada Tabel 3. Simbol N merepresentasi kondisi Normal, simbol A merupakan kondisi *Anomaly* dan simbol D merupakan representasi *Danger*.



Gambar 3. Skema transmisi data *web service* DTMS

3. UJI COBA SISTEM

Uji coba sistem DTMS ini dilakukan pada trafo distribusi milik PT. PLN(Persero) di desa Asrikaton Kecamatan Pakis Kabupaten Malang, melibatkan 2 (dua) trafo distribusi yaitu trafo T1236 sebagai *Master* dan trafo T1540 sebagai *slave*. Uji coba yang dilakukan adalah pemasangan DTMS pada trafo dan uji coba pengukuran serta pengiriman data pengukuran ke server untuk ditampilkan pada web. Periode waktu pengiriman ditentukan selama empat menit sekali. Pemasangan DTMS pada trafo distribusi PT. PLN dilakukan dengan pendampingan teknis dari PT. PLN seperti yang tampak pada Gambar 4 dan 5.

Hasil uji coba sistem DTMS pada pengukuran kedua trafo tersebut dapat dilihat pada Tabel 4. Aplikasi DTMS Web menampilkan data yang diperoleh dari sensor dalam bentuk grafik. Tampilan grafik pada Gambar 6 dapat digunakan untuk mendapatkan informasi *trending* arus tiap fasa pada sebuah trafo dan mendapatkan profil pembebanan maksimal atau minimal dalam rentang waktu tertentu

Tabel 3 Standar Pengukuran (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 1980)

PARAMETER	N	A	D	REKOMENDASI		
				N	A	D
TEMPERATURE (°C)	≤ 65	> 65 < 85	> 85	-	Cek Minyak Trafo	Total inspection
LOAD DEMAND (%)	≤ 80	> 80 < 90	> 90	-	Tidak boleh tambah beban	Uprating trafo
UNBALANCED LOAD (%)	≤ 10	> 10 < 20	> 20	-	Cek Grounding	Penyeimbangan beban
UNBALANCED VOLTAGE (%)	≤ 2.5	> 2.5 < 5	> 5	-	Cek Grounding	Penyeimbangan beban
REGULASI TEGANGAN SUMBER (%)	≥ -5	< -5 > -10	< -10	-	Naikkan Tap Trafo	Total inspection
BLACK OUT		BLACK OUT		TOTAL INSPECTION SESUAI INSTRUKSI KERJA PEMELIHARAAN GARDU DISTRIBUSI		



Gambar 4. DTMS terpasang pada trafo distribusi

. Informasi ini dapat digunakan oleh PT. PLN (Persero) dalam pengambilan keputusan secara preventif, misalnya, pencegahan *overload* dengan menambah trafo baru atau penyeimbangan beban fasa.

Contoh tampilan lainnya ditunjukkan pada Gambar 7 yang merupakan profil suhu operasi trafo pada rentang waktu tertentu, yang merupakan informasi yang sangat penting bagi penentuan

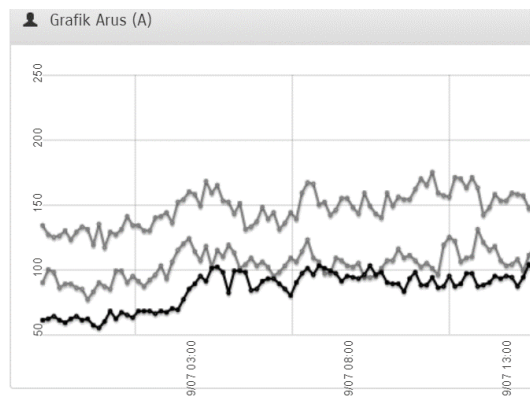
keputusan perawatan trafo misalnya pengecekan minyak trafo atau penyeimbangan beban trafo.



Gambar 5. Proses pemasangan DTMS

Tabel 4 Hasil Uji Coba pengukuran

Timestamp	Status	VR (V)	VS (V)	VT (V)	IR (A)	IS (A)	IT (A)	PFR	PFS	PFT	Stand kWH	Temp (°C)
20/07/18 02:49:28	1	237	238	236	81	127	57	0.96	0.97	0.95	474170	23
20/07/18 02:38:44	1	237	238	236	98	135	65	0.96	0.97	0.96	474156	23
20/07/18 02:28:01	1	236	238	236	99	131	64	0.96	0.97	0.96	474141	23
20/07/18 02:17:12	1	236	238	236	88	127	65	0.96	0.96	0.94	474126	23
20/07/18 02:06:26	1	237	237	236	88	134	67	0.96	0.97	0.94	474112	23
20/07/18 01:55:40	1	236	237	235	92	136	61	0.95	0.97	0.95	474097	23
20/07/18 01:44:56	1	236	237	235	92	137	66	0.95	0.97	0.93	474082	23
20/07/18 01:34:06	1	236	237	235	92	128	68	0.96	0.97	0.94	474067	23
20/07/18 01:23:17	1	235	236	235	86	135	68	0.95	0.97	0.95	474053	23
20/07/18 01:12:31	1	236	237	235	92	131	66	0.95	0.97	0.94	474038	23



Gambar 6. Contoh Tampilan grafik arus pada web DTMS

Selain itu, PT. PLN mendapatkan fungsi *monitoring* terhadap status trafo berdasarkan status layanannya apakah sedang dalam kondisi normal, *warning*, *danger* atau *blackout*. Informasi ini ditampilkan dalam sajian peta berbasis SIG untuk mengetahui secara tepat dimana posisi trafo yang sedang dalam masalah. Hal ini seperti yang dijelaskan pada Gambar 8.



Gambar 7. Grafik trending suhu trafo



Gambar 8. Tampilan peta kondisi trafo DTMS beserta lokasi

4. KESIMPULAN

Dalam penelitian ini dibangun sebuah sistem *monitoring* yang mampu memberikan informasi tentang kondisi trafo distribusi milik PT. PLN (Persero) berdasarkan beberapa standar yang digunakan. Dalam sistem ini dikembangkan perangkat *Embedded system* sebagai perangkat *data collecting* yang berasal dari perangkat sensor-sensor. *Embedded system* ini dibangun dengan platform mikrokontroler Atmega328 yang menerapkan konsep *Sensor Data as a Service* (SDS). Konsep ini terbukti sesuai untuk menjembatani komunikasi data antara perangkat *embeded system* dengan lingkungan server penerima dan pengelola data yang

menggunakan platform PHP. Pada penelitian berikutnya akan dikembangkan skema komunikasi antara *slave* dengan *master* menggunakan topologi jaringan *Mesh*. Di samping, itu juga akan dikembangkan *Application Programming Interface* untuk menjembatani komunikasi *embedded system* dan *server* dengan menambahkan metode enkripsi dan kompresi data.

DAFTAR PUSTAKA

- ABU-ELANIEN, A. E. & SALAMA, M. M., 2010. Asset management techniques for transformers. *Electric power systems research*, 80(4), pp. 456-464.
- ATZORI, L., LERA, A. & MORABITO, G., 2010. The Internet of Things: A survey. *Computer networks*, 54(15), pp. 2787-2805.
- BARTLETT, S., 2002. *Asset Management in a deregulated environment*. Paris, on behalf of the CIGRE Joint Task Force 23.18 and Australian.
- GERMAN, M. O. et al., 2014. *Power asset management: Methods and experiences in Colombian power system*. s.l., Transmission & Distribution Conference and Exposition-Latin America (PES T&D-LA).
- Institute Of Electrical And Electronics Engineers, 1980. *IEEE Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems for Industrial and Commercial Applications: IEEE Std 446-1980 (revision of IEEE Std 446-1974)*. s.l.:Institute of Electrical and Electronics Engineers, distributed, 1980.
- KADIR, A., 2014. *Pengenalan Sistem Informasi*. Edisi Revisi ed. s.l.:Penerbit Andi.
- KHUNTIA, S. R., RUEDA, J. L., BOUWMAN, S. & MEIJDEN, V. D., 2015. *Classification, domains and risk assessment in asset management: A literature study*. s.l., Power Engineering Conference (UPEC), 2015 50th International Universities.
- SUWANASRI, C. & SUWANASRI, T., 2009. *Statistical method with efficient IT support for power transformer asset management*. s.l., 6th International Conference in Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology.
- ZHANG, J., IANNUCCI, B., HENNESSY, M. GOPAL, K. XIAO, S. KUMAR, S., PFEFFER, D., ALJEDIA, B., REN, Y, GRISS, M., ROSENBERG, S., CAO, J., ROWE, A. 2013. *Sensor Data as a Service -- A Federated Platform for Mobile Data-centric Service Development and Sharing*. Santa Clara, CA, USA, IEEE.