

Sistem Monitoring Suhu pada Pendingin Trafo 3 Phasa Electric Arc Furnace (EAF) *Temperature Monitoring System for 3 Phase Electric Arc Furnace (EAF) Transformer Cooling*

Moh. Afandy*
Prodi Teknik Listrik dan Instalasi
Politeknik Industri Logam Morowali
Morowali, Indonesia
Fandhymoh@gmail.com

Abdul Haris Mubarak
Prodi Teknik Listrik dan Instalasi
Politeknik Industri Logam Morowali
Morowali, Indonesia
haris080686@gmail.com

Muhammad Ikbal Rianto
Prodi Teknik Listrik dan Instalasi
Politeknik Industri Logam Morowali
Morowali, Indonesia
Ikbal@pilm.com

Diterima : Februari 2024
Disetujui : April 2024
Dipublikasi : Juli 2024

Abstrak— *Transformator Electric Arc Furnace (EAF)* merupakan komponen kunci dalam sistem peleburan baja menggunakan tungku furnace. Transformator berfungsi sebagai pengubah tegangan listrik dari jaringan listrik utama menjadi tegangan listrik yang diperlukan untuk membentuk busur listrik dalam tungku peleburan. Dalam penelitian ini konfigurasi transformator EAF menggunakan konfigurasi delta-wye dengan kapasitas peleburan tungku 10 kg *nickel ore*. Pada sistem kerjanya, transformator ini akan menghasilkan arus yang sangat tinggi saat sistem peleburan sedang dijalankan. Sehingga proses tersebut akan menghasilkan panas yang berlebih pada sisi transformator EAF. Akibat dari panas yang dihasilkan secara signifikan dalam proses peleburan, maka transformator ini dilengkapi dengan sistem pendinginan berupa oli transformator yang menjadi media pelepas panas dan menjaga suhu pengoprasian yang tepat. Sistem monitoring suhu yang tepat akan meningkatkan efisiensi kerja transformator dan mencegah kerusakan berlebih pada sistem tersebut. Sensor yang digunakan dalam rancangan adalah sensor RTD PT 100 yang dipasang pada 7 titik pengukuran. Kontroler utama sebagai data collecting dan data processing yang digunakan adalah PLC Siemens. Data yang telah diproses pada perangkat control utama ditransmisikan ke *cloud server* IoT menggunakan perangkat V-box. Sebagai human machine interface (HMI) digunakan SCADA web dengan pembacaan data secara *real time*. Dari hasil ujicoba yang telah dilakukan, nilai presentasi error tertinggi diperoleh dalam pengukuran pada fasa T sebesar 0,05 %,.. Sedangkan pada pengukuran sensor diminyak transformator diperoleh nilai error 0 %.

Kata Kunci— *Electric Arc Furnace; Nikel Ore; Temperatur ; Transformator ; IoT ; Pengukuran Temperatur.*

Abstract— *The Electric Arc Furnace (EAF) transformer is a key component in the steel melting system using a furnace. The transformer functions to convert the electrical voltage from the main electrical network into the electrical voltage needed to form an electric arc in the melting furnace. In this research, the EAF transformer configuration uses a delta-wye configuration with a furnace melting capacity of 10 kg nickel ore. In its working system, this transformer will produce a very high current when the melting*

system is running. So this process will produce excessive heat on the EAF transformer side. As a result of the significant heat generated in the melting process, this transformer is equipped with a cooling system in the form of transformer oil which is a heat release medium and maintains the correct operating temperature. An appropriate temperature monitoring system will increase the work efficiency of the transformer and prevent excessive damage to the system. The sensor used in the design is the RTD PT 100 sensor which is installed at 7 measurement points. The main controller for data collecting and data processing used is a Siemens PLC. Data that has been processed on the main control device is transmitted to the IoT cloud server using a V-box device. As a human machine interface (HMI) web SCADA is used to read data in real time. From the results of the tests that have been carried out, the highest error presentation value obtained in measurements on the T phase is 0.05%. Meanwhile, when measuring the transformer oil sensor, an error value of 0% was obtained.

Index Terms — *Electric Arc Furnace; Nickel Ore; Temperature; Transformers; Io ; Temperature Measurement.*

I. PENDAHULUAN

Beberapa tahun belakangan perkembangan industri *smelter* di Indonesia khususnya daerah Morowali, Sulawesi Tengah meningkat cukup pesat, hal ini tentunya didasari oleh kebutuhan pasar akan *nickel ore* yang berkualitas dengan produk akhirnya yang siap untuk dipasarkan. Berdasarkan peraturan pemerintah yang mengatur terkait peningkatan nilai tambah mineral melalui pengolahan dan pemurnian mineral menjadi salah satu faktor yang mendorong tumbuh kembangnya industri *smelter* tersebut. Peraturan yang ditetapkan oleh Menteri ESDM pada tahun 2017 terkait pengaturan tentang tata cara dan persyaratan pemberian rekomendasi penjualan mineral keluar negeri, yang kemudian direvisi menjadi PERMEN nomor 35 tahun 2017 dalam pasal 1 poin 14 yang mensyaratkan bahwa ekspor *nickel ore* keluar

negeri haruslah merupakan hasil pengolahan dalam bentuk produk minimum.

Electric Arc Furnace (EAF) disebut juga tanur busur listrik adalah bagian utama dari sebuah proses ekstraksi peleburan nikel ore pada metode pirometalurgy. Umumnya terdapat tiga buah batangan elektroda yang terbuat dari graphite.[6],[9],[10]. Untuk melakukan peleburan besi dan baja, dilakukan pembenturan *electric arc* (busur listrik) antara elektroda dengan baja yang ada dalam sebuah wadah besar, proses ini dikenal dengan istilah *tapping*. Teknologi EAF banyak digunakan pada industri baja, yaitu meleburkan baja bekas untuk daur ulang ataupun peleburan material *ore nickel*. Proses untuk mendapatkan kualitas produk yang diinginkan, yaitu menggunakan sumber energi listrik dengan media batang elektroda. Interaksi antara batang elektroda dan material yang dilebur, menyebabkan terjadinya busur listrik dari ujung batang elektroda. Energi dari busur listrik ditransfer secara langsung pada material melalui pemanasan resistansi dan pemanasan radiasi.

Dalam pengoperasiannya EAF membutuhkan transformator 3 fasa dengan konfigurasi *delta-wye* yang berfungsi sebagai pengubah tegangan dari jaringan listrik utama ke jalur listrik terkontrol [1]. Pembenturan *electric arc* pada tungku akan menghasilkan fluktuasi arus yang signifikan. Hal ini dikarenakan sifat yang terjadi dari proses pembenturan busur listrik tersebut merupakan proses nonlinear [2]. Selama proses dijalankan akan menggunakan daya yang cukup besar dengan kenaikan panas pada transformator akan meningkat. Gambar 1 merupakan transformator yang digunakan dalam penelitian berikut. [1]-[4].



Gambar 1. Transformator 3 fasa yang digunakan.

Di Indonesia, transformator - transformater dirancang dan dibuat sesuai dengan standar yang telah ditentukan. Misalkan saja untuk transformator terendam minyak dirancang berdasarkan standar *International Electrotechnical Commission* (IEC) [4]. Standar ini kemudian diadaptasi oleh Indonesia menjadi standar PLN atau yang lebih dikenal dengan standar SPLN 17 A. Dalam menetapkan standar IEC untuk membuat konstruksi transformator indikator yang menjadi kriteria perancangan adalah iklim negara-negara yang memiliki empat musim, dimana negara-negara yang memiliki empat musim suhu efektif sepanjang tahun dinegara-negara tersebut berkisar antara 20° C. Berbeda

dengan standar yang diterapkan oleh IEEE pada tahun 1999 dimana suhu yang ditetapkan pada standar ini berkisar antara 30 °C. Berdasarkan standar-standar tersebut, Transformator yang telah dirancang dan dibebani selama 24 jam pada suhu 20°C menjamin transformator tersebut tidak mengalami kenaikan susut-umur. Suhu titik panas pada belitan mencapai 98°C pada standar IEC sedangkan pada standar IEEE suhu titik panas pada belitan ditentukan dengan nilai 110°C. Pengoprasian transformator pada suhu melebihi 30°C akan mengakibatkan kenaikan susut umur yang lebih besar dari susut umur normalnya. Hal ini dikarenakan pada bagian isolasi belitan transformator mengalami penuaan lebih cepat.

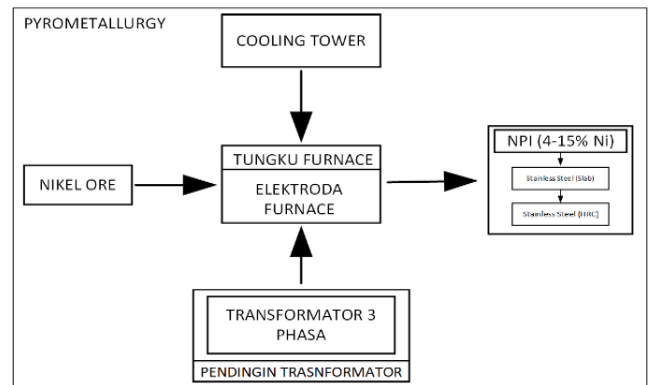
Pencegahan *over heat* berlebih pada transformator akan meningkatkan efisiensi kerja peleburan EAF. Oleh karena sifat kenaikan suhu nonlinear yang terjadi pada transformator EAF, sehingga diperlukan sistem monitoring suhu secara *real time* pada saat terjadinya pembebanan transformator [5]. Dalam penelitian ini sistem monitoring suhu dilakukan secara *real time*.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan kelanjutan dari penelitian terdahulu dimana penelitian terdahulu yang dilakukan di Politeknik Industri Logam Morowali dengan lokasi penelitian Workshop Prodi Teknik Listrik dan Instalasi. Dalam penelitian ini menggunakan metode rancang bangun yang diadaptasi dan dikembangkan dari sistem pemrosesan *nickel ore* yang ada pada kawasal industri *smelter*.

A. Studi Literatur.

Pada tahap ini, kegiatan penelitian dimulai dari tinjauan pustaka dan pembelajaran terhadap beberapa referensi terkait sistem yang akan dibangun [1]-[14]. Berdasarkan studi literatur yang dilakukan maka dapat dimodelkan proses peleburan *nickel ore* pada industri *smeter* sebagai berikut.



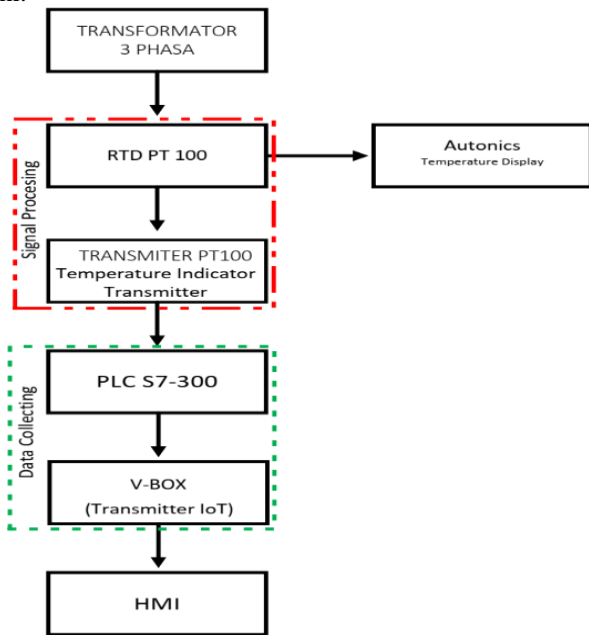
Gambar 2. Alur Proses Nikel Ore

Pada gambar 2 dapat dilihat alur pengolahan nikel dengan menggunakan metode *pyrometallurgy* dimana dalam proses ini akan sangat mengandalkan kestabilan kerja dari transformator 3 fasa dalam menyuplai tegangan dan arus [6]. Hubungan erat antara penelitian yang akan dilakukan dengan penelitian terdahulu yaitu pada sistem monitoring suhu transformator 3 fasa dan pendinginan transformator yang sangat mempengaruhi proses peleburan *nickel ore* pada tungku *furnace* dengan metode pembenturan busur api. Kenaikan suhu secara berlebihan akan mengakibatkan kerusakan pada transformator 3 fasa yang berfungsi

menyuplai tegangan dan arus untuk membentuk busur api. Sehingga dapat dipastikan proses peleburan tidak akan maksimal. Suhu aman belitan yang telah ditentukan oleh standar IEEE sekitar 98-110 °C menjadi acuan untuk penelitian kali ini. Pengukuran suhu manual akan sangat berbahaya jika dilakukan oleh manusia dikarenakan pada saat proses tapping pada tungku, suhu lebur tungku berkisar antara 1500-1900 °C dengan tegangan dan arus kerja transformator yang sangat tinggi.

B. Pemodelan desain sistem dalam pengujian

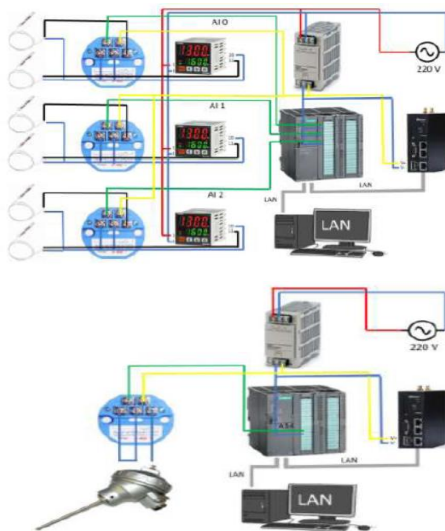
Pemodelan dan desain dalam penelitian berikut dimulai dari pengambilan data suhu yang ada pada transformator 3 fasa menggunakan sensor suhu. RTD PT 100 [13]. Berikut adalah diagram alur proses pembacaan data pada penelitian ini.



Gambar 3. Diagram Alur Proses pembacaan data

C. Wire Pengolahan Sensor Suhu RTD PT100

Berikut adalah wiring sistem pembacaan dan pengolahan sensor suhu RTD PT100 dapat dilihat pada gambar 4 berikut.



Gambar 4. Wiring diagram sensor suhu dan pengolahan data sensor

Pada gambar 4 dapat dilihat urutan pemrosesan data dimana sensor sensor RTD PT 100 akan menghasilkan keluaran data analog berupa resistansi yang kemudian ditransmisikan ke *autonics temperature display* sehingga akan menghasilkan nilai *temperatur* terbaca. Pada sisi lain juga keluaran sensor akan di paralelkan dengan transmiter sensor sehingga data akan bisa terbagi dan diproses oleh PLC. Penempatan sensor RTD PT 100 ditempatkan pada batangan *busbar* yang terpasang pada konstriksi transformator,

D. Perhitungan Matematis Sensor RTD PT 100.

Sensor RTD PT 100 merupakan sensor dengan prinsip resistif sensor, dimana nilai pembacaan dari sensor tersebut dipengaruhi oleh nilai hambatannya. Kenaikan suhu pada sensor ini akan mempengaruhi nilai tahanannya dengan perubahan data linear yang akan terus dikirimkan sesuai nilai terukur. Model matematis dari linearitas antara perubahan suhu dan resistansi sensor RTD PT 100 dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$R_t = R_o (1 + \alpha \Delta t) \quad (1)$$

Dimana :

R_o = Tahanan Konduktor pada temperature awal.

R_t = Tahanan Konduktor pada temperature maksimal.

α = Koefisien temperature tahanan.

Δt = Selisih antara temperature.

E. Prosedur Pengujian

Dalam penelitian ini digunakan transformator 3 fasa dengan kapasitas 30 KVA. Dalam prosedur pengujian temperature pada transformator yang digunakan digunakan metode hubung singkat untuk kumparan sekunder pada transformator yang diuji. Panas pada transformator ini diteruskan pada minyak pendingin yang dibawa ketangi untuk disebarkan ke udara sekeliling. Kenaikan temperatur akan terus berlanjut jika panas yang diterima tidak sebanding dengan pendinginannya. Minyak transformator didalam bak transformator tidak mempunyai suhu yang sama, akan tetapi di sebelah bawah adalah yang terdingin, sedangkan suhu tertinggi disekitar sisi atas dari kumparan tembaga. Sebuah transformator, setelah dibebani akan mengalami perubahan suhu akhir, dan suhu itu akan dicapainya setelah beberapa waktu lampau. Suhu lebih pada lilitan pada umumnya ditentukan dengan pengukuran-pengukuran tahanan, dengan menggunakan rumus yang dipakai IEC 60076 sebagai berikut.

$$T_2 = (R_2 / R_1) \times (225 + T_o) - 225 [^{\circ}C] \quad (2)$$

(Sumber : IEC 60076-2 1993)

Dimana :

R_2 = Nilai Resistansi Belitan Pada Kondisi Panas [Ohm]

R_1 = Nilai Resistansi Belitan Pada Kondisi Dingin [Ohm]

T_o = Suhu Belitan awal (rata-rata suhu sekitar) [°C]

T_2 = Suhu Belitan akhir (panas) [°C]

F. Pengujian Program PLC

Pengujian program pada PLC bertujuan untuk mencocokkan data yang terbaca dengan data yang tertampil pada HMI. Tipe data yang terbaca pada sensor merupakan tipe data analog dengan nilai resistansi yang kemudian dikonversi menjadi tipe data arus dengan range 4-20mA. Hasil konversi tipe data tersebut kemudian di *scaling* pada

program PLC sehingga tipe data tersebut berubah menjadi tipe data *integer* yang selanjutnya di *scaling* lagi hingga menjadi tipe data *real (floating point)*. Data real tersebut kemudian menjadi data yang akan di *colect* sebelum nantinya dikirim pada web. Dikarenakan pada sistem transmisi data menggunakan V-Box hanya akan mengenali data *floating* sehingga pada saat data ditransmisikan tidak terjadi Error data.

G. Kalibrasi Sensor

Kalibrasi sensor sangat perlu dilakukan dalam kegiatan pengukuran suatu besaran fisis agar nilai yang dikeluarkan oleh alat ukur atau sensor tersebut akurat dan sesuai dengan standar pengukuran. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa sensor suhu RTD PT100 yang digunakan telah memberikan hasil pembacaan yang tepat.. Tujuan kalibrasi adalah untuk mencapai ketertulusuran pengukuran. Pada proses kalibrasi data sensor suhu RTD PT100 dibandingkan dengan hasil *Autonic Temperature Display*. Dari proses kalibrasi ini diperoleh nilai selisih ukur antara tampilan pada HMI dengan *Autonic Display Temperatur* yang kemudian nilai tersebut digunakan sebagai referensi perhitungan error untuk mengukur keakuratan tampilan temperature transformator.

TABEL 1. HASIL KALIBRASI SENSOR

Waktu (S)	RTD PT 100			Pendingin °C	Selisih Pengukuran
	R °C	S °C	T °C		
10	29,2	29,9	29,5	28	0.2
20	30	30	32	30	0
30	31	31.2	32	30	0.2
40	32	32	32	31	0.4
50	33	33.5	33.3	32.5	0
60	35	34.5	34.7	33.8	0.5

H. Presentasi Error

Untuk menghitung nilai presentasi error yang didapatkan dalam rancangan kali ini maka digunakan persamaan matematis sebagai berikut :

$$Error = \frac{Nx - Ny}{Ny} \times 100 \% \quad (3)$$

Dimana :

Nx = Nilai Terukur

Ny = Nilai Falid.

Dalam hal ini nilai Nx dan Ny diperoleh dari proses kalibrasi sensor. Sebagai data pembanding *autonics display temperature* digunakan sebagai data Falid dikarenakan perangkat tersebut merupakan perangkat yang telah terstandarisasi industri. Berdasarkan kalibrasi sensor maka diperoleh hasil perhitungan selisih error sebagai berikut.

TABEL 2. PERHITUNGAN SELISIH DAN PRESENTASI ERROR

Waktu (S)	Selisih Pengukuran	Error (%)
10	0.2	0.006
20	0	0
30	0.2	0.006
40	0.4	0.007

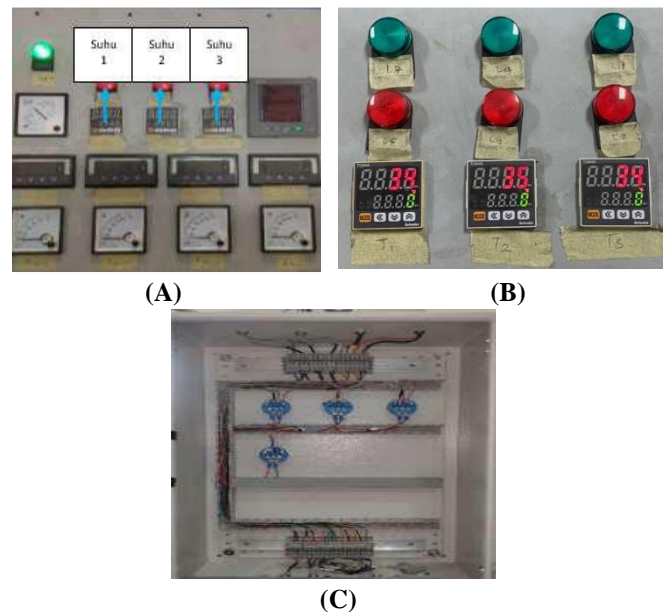
Waktu (S)	Selisih Pengukuran	Error (%)
50	0	0
60	0.5	0.006

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan desain rancangan yang telah dilakukan dalam penelitian berikut, maka hasil penelitian dan pembahasan dibagi menjadi beberapa sub penjelasan sebagai berikut.

A. Desain Akhir Sistem Monitoring dan Kontrol Manual.

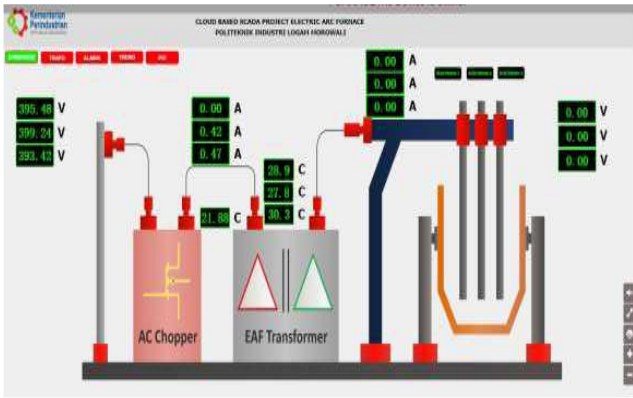
Berdasarkan hasil yang telah dilakukan, adapun desain akhir sistem monitoring suhu pada pendingin transformator EAF sebagai berikut.



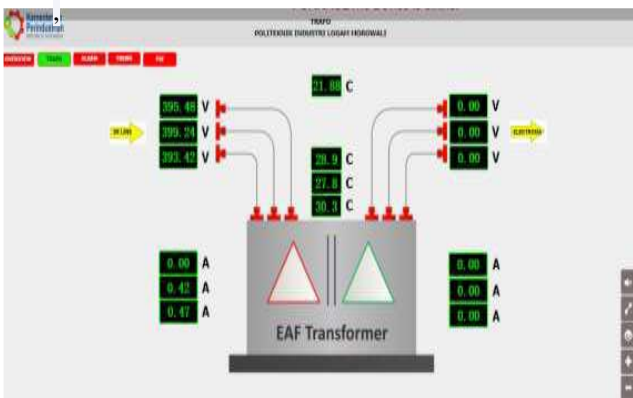
Gambar 5. Desain Akhir Rancangan
A. Desai Panel Monitoring Manual, B. Desai Letak Temperature display Sensor RTD PT 100, C. Desai Panel Transmitter Sensor RTD PT 100

B. Tampilan SCADA system

Pada pengerjaan HMI untuk sistem *monitoring* dalam penelitian ini dibuat menggunakan SCADA-WEB yang telah disediakan oleh perangkat V-Box Wecon. Untuk tampilan SCADA dibuat menjadi beberapa Sub domain. Pada gambar 6. (A) merupakan tampilan keseluruhan *system control furnace* dengan fasilitas *monitoring* tegangan, arus, daya dan suhu. Pada sub domai Transformator EAF dapat dilihat pada gamba 6. (B) dengan *monitoring* arus 3 phasa, tegangan 3 phasa, dan Suhu dimasing-masing *busbar* antara phasa. Pada tangki pending transformator juga dilengkapi dengan monitoring rata-rata suhu pada oli pendingin transformator. Secara keseluruhan hasil rancangan tampilan Scada HMI dibuat untuk mudah dipahami dan dioperasikan. Selain itu dari hasil rancangan HMI yang telah dibuat, memungkinkan untuk dilakukan pengembangan terintegrasi pada sistem lainnya yang ada pada sistem peleburan *nickel ore*.



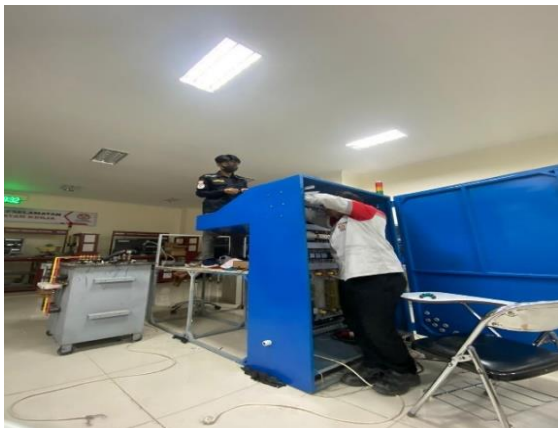
(A) Halaman Awal system Monitoring EAF



(B) Halaman Sub Domai system Monitoring suhu Transformator EAF
Gambar 6. Tampil Akhir SCADA system Monitoring EAF

C. Konfigurasi Panel Kontrol Utama dengan Sistem Monitoring Suhu

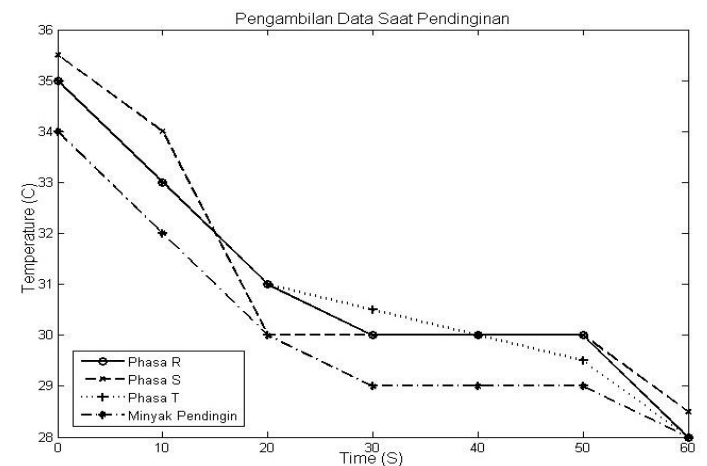
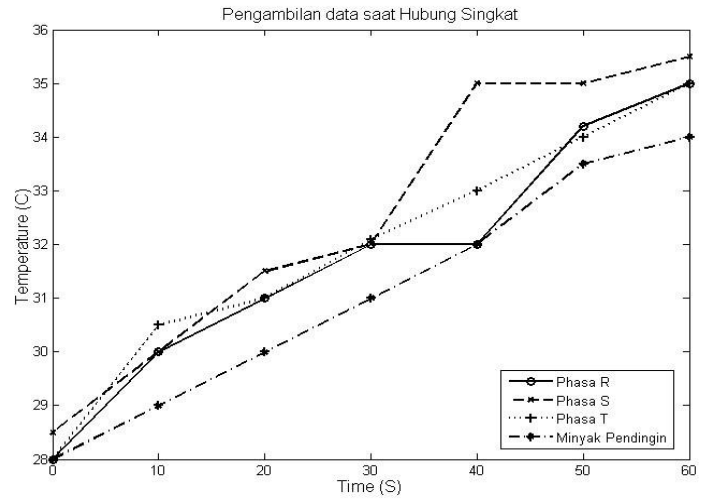
Pada proses ini dilakukan konfigurasi dan penyesuaian antara panel control utama pada sistem EAF[8],[9], [14]. Penyesuaian jalur komunikasi panel utama dengan sistem monitoring suhu pada transformator EAF yang telah selesai dikerjakan penting untuk dilakukan. Tujuan dari konfigurasi ini yaitu agar sistem yang telah dibangun dapat berkomunikasi satu dengan yang lainnya.



Gambar 8. Konfigurasi panel control utama dengan sistem monitoring suhu pada Transformator

D. Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan pada saat transformator terjadi pembebanan, Saat proses ini terjadi hubung singkat pada masing-masing fase transformator akan menghasilkan panas. Panas tersebut kemudian diukur oleh sensor suhu yang telah dipasang pada batangan busbar transformator.



Gambar 7. Pengambilan Sample data sesaat

Pada gambar 7 ditampilkan hasil pengambilan data pada transformator *furnace*. Pengambilan sample data dilakukan setiap 10 menit dengan maksimal pengambilan data selama 60 menit. Pengukuran dilakukan dimasing-masing fase. Pengambilan data bertujuan untuk mengetahui apakah sensor terkalibrasi bekerja dengan baik, metode pengambilan data sesaat dengan hubung singkat antar fase. Dari proses pengambilan data didapatkan hasil bahwa sistem secara keseluruhan sudah bekerja dengan baik, sehingga data pada saat pembebanan dan pendinginan dapat diolah.

E. Pembahasan

Berdasarkan hasil pengambilan data yang telah dilakukan pada busbar transformator fase R, S, T dan oli pendingin transformator dalam kondisi transformator berbeban dengan rentan waktu pengambilan data 10 sampai 60 menit, dapat dilihat nilai perubahan suhu pada masing-masing busbar transformator pada tabel 3.

TABEL 3. KONDISI SAAT PEMBEBANAN

Waktu (S)	Web Scada				Autonic Temperature Display			
	R °C	S °C	T °C	Pdgn °C	R °C	S °C	T °C	Pdgn °C
10	29,2	29,9	29,5	28	29	29	28	28
20	30	32	30	30	30	31	30	30
30	31	30	31	30	31	30	31	30
40	32	32	32	31	31	31	31	31
50	33	33,5	33,3	32,5	32	32	31	32
60	35	34,5	34,7	33,8	34	33	33	30

Berdasarkan hasil pengambilan data yang telah dilakukan pada saat tapping, suhu transformator terukur pada busbar R, S, T dan oli pendingin transformator mengalami kenaikan dan sistem *monitoring* suhu transformator bekerja dengan baik.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa Sistem *Monitoring* Suhu Pada Pendingin Transformator 3 Fasa *Electric Arc Furnace* (EAF) bekerja dengan sempurna. Hal ini dikarenakan sistem yang dibuat dapat menampilkan data suhu transformator saat pembebanan, dan proses pendinginan pada PC dan HMI berupa web SCADA secara *realtime*. Berdasarkan data yang didapatkan nilai rata-rata persentase *error* yang sangat kecil. Saat transformator dibebani, nilai *error* pada sensor fasa R sebesar 0,006 %, sensor fasa S sebesar 0.03 %, sensor fasa T sebesar 0.05 % sedangkan pada oli pendingin sendiri nilai *error* terbaca 0 %.

REFERENSI

[1] M. Afandy, M. A. Nur and A. H. Mubarak, "Power Monitoring System for 3-Phase Electric Motors Using IoT-Based Current Transformers and Potential Transformers," *2022 2nd International Seminar on Machine Learning, Optimization, and Data Science (ISMODE)*, Jakarta, Indonesia, 2022, pp. 420-425, doi: 10.1109/ISMODE56940.2022.10181008.

[2] Usman, I. V. Sari and J. Hidayat, "Comparative Analysis of Temperature Change Monitoring System of Coil and Inverter Transformers on Welding Transformers," *2020 4rd International Conference on Electrical, Telecommunication and Computer Engineering (ELTICOM)*, Medan, Indonesia, 2020, pp. 158-161, doi: 10.1109/ELTICOM50775.2020.9230471.

[3] M. Afandy, I Hidayat, A Akbar, A. H. Mubarak," Rancang Bangun Sistem Distribusi Grease Secara Otomatis Dengan Metode Penjadwalan", *Jurnal of Electrical and Electronics Engineering*, doi: <https://doi.org/10.37905/jjee.v5i2.17193>, pp 130-135, 2023.

[4] J O Wuwung, "Pengaruh Pembebanan Terhadap Kenaikan Suhu Pada Belitan Transformator Daya Jenis Teredam Minyak", *Jurnal Tekno* Volume 07 No.52 April 2010, pp 29-37.

[5] A H Mubarak, M. Afandy, M Khaidir, "Rancang Bangun Sistem Kontrol Miniatur Alat Pemindah

Material Pada Proses Distribusi Bijih Nikel Menggunakan Plc", doi: <https://doi.org/10.34312/jpj.v5i1.18466>, pp 1-9, 2023.

[6] D. K. Mahanta and I. Rahman, "IoT Based Transformer Oil Temperature Monitoring System," *2022 International Conference on Sustainable Computing and Data Communication Systems (ICSCDS)*, Erode, India, 2022, pp. 975-978, doi: 10.1109/ICSCDS53736.2022.9760876.

[7] M. Afandy, I Hidayat, A. H. Mubarak, F R Rahman, A Latif, "Pemodelan dan Analisa Kendali PI Static dan PI Adaptive DC-DC Boost Converter", *Jurnal of Electrical and Electronics Engineering*, doi: 10.37905/jjee.v4i2.13531 , pp 131-136, 2022.

[8] A. Lipnickas, R. Rutkauskas and R. Cerkauskas, "Interoperability of SCADA system applications with Web services," *2009 IEEE International Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications*, Rende, Italy, 2009, pp. 196-200, doi: 10.1109/IDAACS.2009.5342997.

[9] Arfah, M. A. 2021. *Perancangan Kontrol Automatic Transfer Switch (ATS) Berbasis Programmable Logic Control (PLC) Siemens Simatic S7-300*. Laporan Akhir Studi. Makassar. Teknik Elektro. Universitas Hasanuddin.

[10] B. Boulet, G. Lalli and M. Ajersch, "Modeling and control of an electric arc furnace," *Proceedings of the 2003 American Control Conference, 2003.*, Denver, CO, USA, 2003, pp. 3060-3064 vol.4, doi: 10.1109/ACC.2003.1243998.

[11] Dharmawan H.A and Ali S.A.M. 2010. Managing Distributed Temperature Measurements in an Embedded System of a 3-Phase 10 kVA Energy Efficient Switchable Distribution Transformer Employing a Modular Approach. DOI 10.1109/ACT.2010.21.

[12] H. W. Chen and F. J. Lin. 2014. "Converging MQTT Resources in ETSI Standards Based M2M Platform," *2014 IEEE International Conference on Internet of Things (iThings), and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom)*.

[13] Pahlevi R.D.M, et al. SISTEM MONITORING KENAIKAN SUHU PADA TRANSFORMER BERBASIS IoT. *Jurnal Ilmiah Foristek Jurusan Teknik Elektro UNTAD*. 11(2).

[14] Rani, B. 2021. *Rancang Bagun Prototype Sistem Monitoring Pendingin Batu Bara Pada Jalur Distribusi Ke Gudang Bahan Jadi*. Laporan akhir studi. Morowali. Teknik Listrik dan instalasi. Politeknik Industri Logam Morowali

[15] Afandy, M., Samman, F. A., & Salam, A. E. U. (2019, July). Performance Comparative study on DC-DC Boost Converters Non-Isolated Configurations. In *2019 International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT)* (pp. 728-732). IEEE.