

Rancang Bangun Sistem Monitoring Arus, Tegangan, Kecepatan Putar Turbin dan Suhu Berbasis IoT Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Mini Skala Laboratorium

Muhammad Ibrahim Alfitroh^{1*}, Humaidilah Kurniadi Wardana¹

¹Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasyim Asy'ari

Jl. Irian Jaya No 55 Cukir Diwek Jombang 61471 Jawa Timur

ibrahimalfith@unhasy.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v16i1.16580>

Abstrak

Sistem monitoring PLTU yang dikembangkan pada penelitian berupa sistem monitoring suhu, arus, tegangan kecepatan turbin pada PLTU mini skala laboratorium yang dibuat menggunakan aplikasi *blynk* dan ditampilkan pada *smartphone*. Metode penelitian yang digunakan berupa pengujian sistem monitoring membandingkan prototipe dengan pengukur standar untuk mengetahui persentase kesalahan pengukuran tersebut, pembacaan termokopel tipe K dan MAX6675, sensor Lm393, sensor tegangan DC, sensor ACS712. Hasil dari pengukuran sensor suhu uap memiliki tingkat persentase rata-rata kesalahan 0,03%, sensor putaran turbin memiliki tingkat persentase rata-rata kesalahan 0,01%, sensor tegangan DC memiliki tingkat persentase rata-rata kesalahan 0,07%, sensor arus DC memiliki tingkat persentase rata-rata kesalahan 0,10%.

Kata Kunci : sistem monitoring, pembangkit listrik mini, aplikasi *blynk*, Arduino Uno, IoT

Abstract

The PLTU monitoring system developed in this study will be in the form of a monitoring system for temperature, current, voltage, turbine speed on a laboratory scale mini PLTU created using the *blynk* application and displayed on a *smartphone*. The research method used is in the form of testing a monitoring system comparing the prototype with standard gauges to determine the percentage of the measurement error, readings of type K and MAX6675 thermocouples, Lm393 sensors, DC voltage sensors, ACS712 sensors. The results of the measurement of the steam temperature sensor have an average percentage error of 0.03%, the turbine rotation sensor has an average percentage error rate of 0.01%, DC voltage sensor has an average error percentage rate of 0.07%, DC current sensors have an average percentage error rate of 0.10%.

Keywords : monitoring system, mini electrical generator, *blynk* application, Arduino Uno, IoT

PENDAHULUAN

Berlandaskan informasi yang terdapat pada rencana usaha pengembangan tenaga tenaga listrik PT. PLN 2015-2024 menghitung ada peningkatan penggunaan listrik dari 219,1 TWh pada tahun 2015 sebanyak 464,2 TWh di tahun 2024 (PLN, 2015). Menghadapi peningkatan kebutuhan listrik dimana peralatan elektronik rumah maupun industri pada saat ini menggunakan energi listrik sebagai sumber tenaganya (Janwardi, 2020), diperlukan inovasi pembangkit listrik dan salah satu pembangkit listrik yang saat ini sedang berkembang adalah pembangkit listrik tenaga uap. Pembangkit listrik

tenaga uap adalah menyuplai energi listrik secara konvensional, sistem operasi PLTU membakar batu bara untuk menghasilkan kompresi uap tinggi, dan uap yang dihasilkan bisa menggerakkan generator dan turbin untuk memproduksi energi listrik (Prasetya & Mujahidin, 2021). Pembangkit listrik tenaga uap memiliki empat perangkat primer yakni turbin, boiler, pompa, dan kondensor (Kurniawan, 2012).

Semua sistem pada pembangkit listrik tenaga uap terdapat banyak peralatan instrumen yang harus dipantau dan dikontrol setiap saat untuk mengetahui perubahan beban tersebut, sistem kontrol adalah suatu alat untuk mengatur, mengendalikan, dan memerintah keadaan dari suatu sistem (Choir *et al.*, 2012). Monitoring adalah pemantauan pada suatu sistem untuk mencapai hasil data yang diinginkan baik secara kuantitas dan kualitas supaya mendapatkan hasil seoptimal mungkin atau setidaknya sumber daya yang

Article History:

Received: August, 28th, 2022; **Accepted:** March 26th, 2023

Cite this as:

Alfitroh, M.I., Wardana, H.K. (2023). Rancang bangun sistem monitoring arus, tegangan, kecepatan putar turbin dan suhu berbasis IoT pada pembangkit listrik tenaga uap mini skala laboratorium. *Rekayasa*. Vol 16(3) 9-16.

dipergunakan seimbang dengan hasil yang dicapai (Hidayat *et al.*, 2021). Pemantauan dimaksudkan untuk meminimalisir gangguan jika terdapat kendala dalam suatu sistem. Untuk menjaga unit pembangkit selama beroperasi secara optimal maka peralatan pada PLTU (Rahmatullah *et al.*, 2021) dibuatlah rancang bangun monitoring yang bisa mendeteksi efisiensi kinerja uap boiler, putaran turbin sampai menghasilkan listrik. Parameter yang diukur yaitu hasil suhu uap boiler, putaran turbin, arus dan tegangan yang dihasilkan oleh generator. Diperlukan sentuhan teknologi yang sesuai pada masa revolusi industri 4.0 penggunaan *Internet of Things* (IoT) era digital ketika semua peranti terhubung melalui sistem internet (Syamsuar & Reflianto, 2018).

Mengacu pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Abdillah *et al.*, (2015) hasil tegangan yang diperoleh generator dan rotasi rotor yang terbaca ditampilkan di LCD, serta terdapat tombol ON/OFF dan soket kabel koneksi usb ke komputer. Tentang rancangan otomasi distilasi air dan uap yang dikontrol memakai mikrokontroler. Sistem otomasi yang dikembangkan dapat mengatur dan mengukur suhu 100° C, tekanan uap sebesar 2,02 bar, dan dapat mengukur ketinggian air 30 cm (Firdaus & Abduh, 2016). Sistem pemantauan suhu terhubung *Human Machine Interface* menggunakan aplikasi delphi7 sebagai tampilan grafik waktu nyata, hasil pembacaan sistem pemantauan suhu dapat disimpan dan direkam secara langsung di *laptop* (Labiba, 2017). Media monitoring model boiler menggunakan android (Haribertus A, 2018). Boiler dalam waktu diatas 60 menit dapat memproduksi uap bertekanan 1,2 Bar (Pratama *et al.*, 2021). Kinerja prototipe PLTU skala laboratorium menggunakan panas hasil pembakaran proses pirolisis dapat memutar turbin dan generator untuk menghasilkan listrik 9 volt dan 14.4 watt (Zariatini *et al.*, 2018). Dari penelitian yang

dilakukan oleh Putri (2014) prototipe steam power plant dapat menghasilkan daya listrik sebesar 220 volt.

Berdasarkan pemaparan tersebut maka penelitian ini bertujuan untuk membuat pembangkit listrik tenaga uap mini skala laboratorium menggunakan sensor termokopel tipe K dan MAX6675 sebagai pengukur suhu uap, sensor Lm393 sebagai pengukur putaran turbin, sensor tegangan DC dan sensor ACS712 sebagai pengukur tegangan dan arus generator. Data diproses melalui arduino uno dan ESP01 sebagai pengirim data, hasil data secara realtime akan ditampilkan pada smartphone menggunakan aplikasi blynk berbasis IoT untuk mempermudah monitoring dan sebagai media praktikum skala laboratorium.

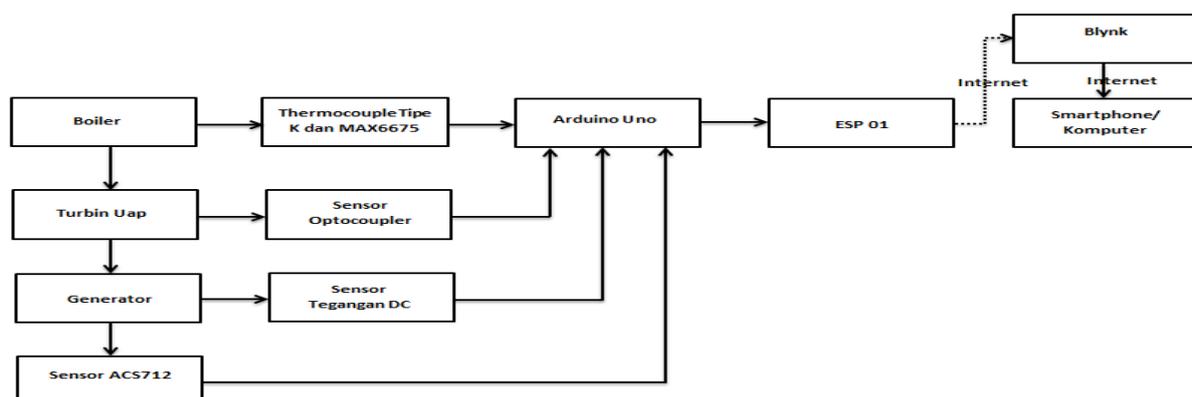
METODE PENELITIAN

Perancangan Hardware

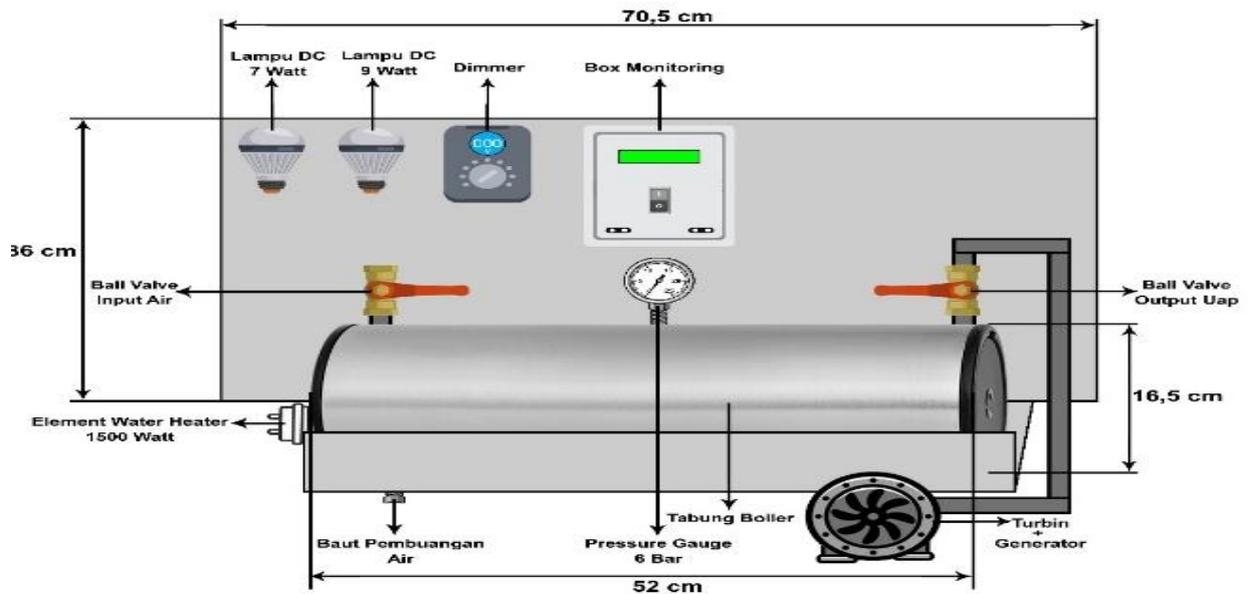
Perancangan *hardware* rancang bangun sistem monitoring arus, tegangan, kecepatan putar turbin, dan suhu berbasis IoT seperti pada Gambar 1 dan 2 pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) mini skala laboratorium.

Perancangan software

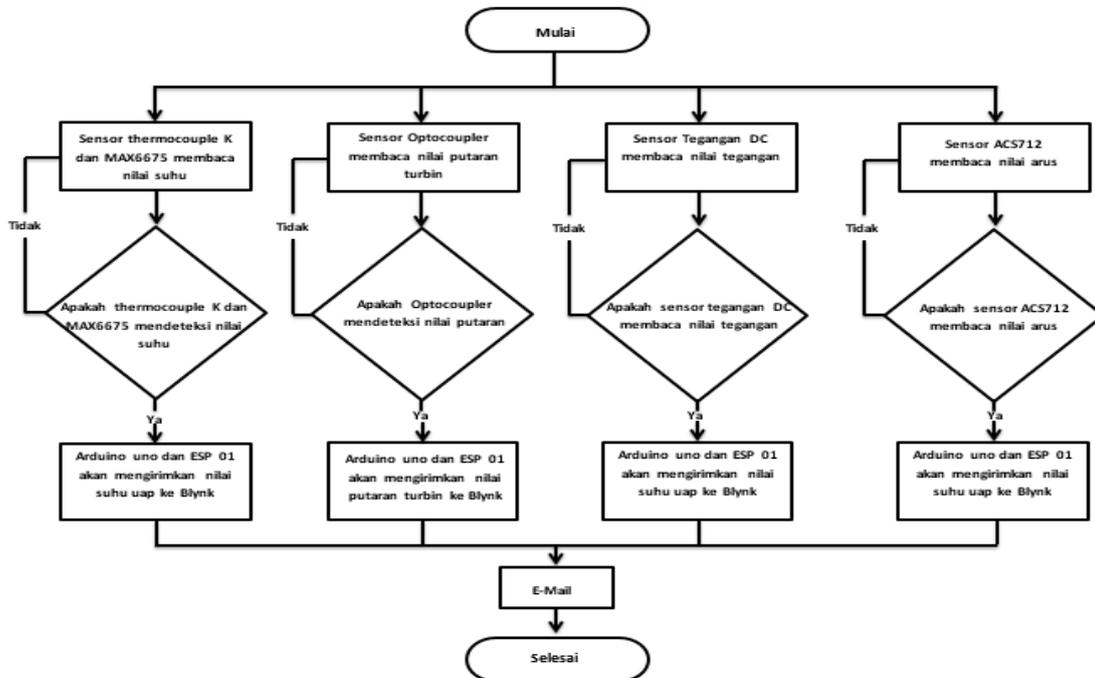
Perancangan *software* seperti pada gambar Gambar 3, fase pertama membaca nilai awal sensor termokopel dan MAX6675 yang diperoleh dari nilai suhu uap, berurut inialisasi sensor Lm393 dengan membaca nilai putaran turbin, inialisasi sensor tegangan DC dengan membaca nilai tegangan generator, inialisasi sensor ACS712 dengan membaca nilai arus generator yang akan dikirim ke arduino uno lalu ke ESP 01 akan dikirimkan ke blynk guna bisa ditampilkan di *smartphone*, data hasil monitoring yang diperoleh dikirim ke e-mail pengguna.



Gambar 1. Diagram Perancangan *Hardware*



Gambar 2. Skema Perancangan *Hardware*



Gambar 3. Alur Perancangan *Software*

Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan membandingkan hasil pada pengujian rancang bangun monitoring PLTU yang dibuat dengan alat ukur standar dihitung persentase *error* dan rata-rata persentase *error* (Fasya, 2019). Persentase *error* dan rata-rata persentase *error* menggunakan rumus:

Persentase *error*

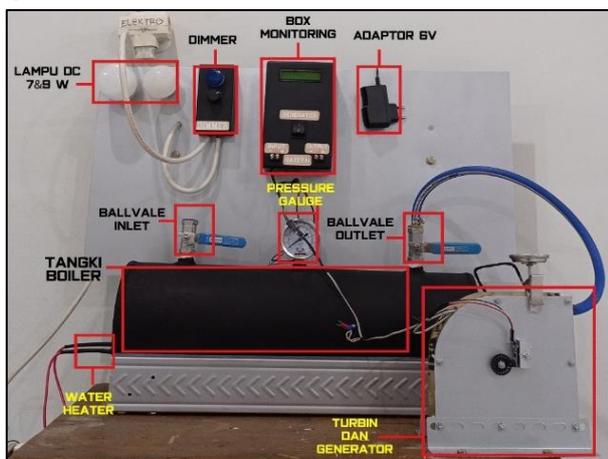
$$= \left(\frac{\text{Alat Ukur Standar} - \text{Alat Ukur Yang Dibuat}}{\text{Alat Ukur Standar}} \right) \times 100 \dots \dots \dots (1)$$
 Rata - rata persentase *error*

$$= \left(\frac{\text{Jumlah Persentase Kesalahan}}{\text{Jumlah Data}} \right) \times 100\% \dots \dots \dots (2)$$

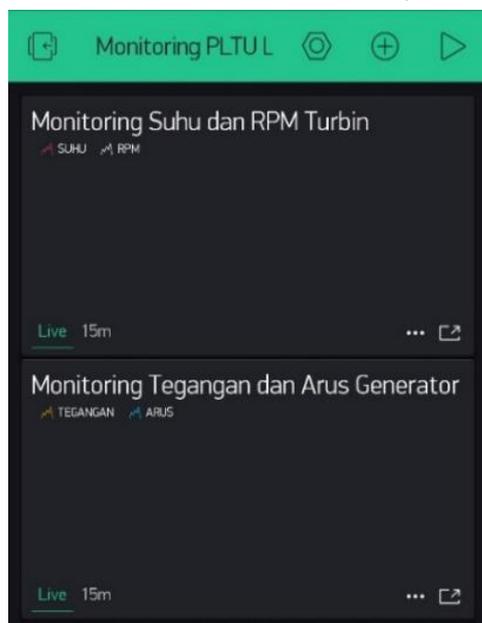
HASIL PEMBAHASAN

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) mini skala laboratorium yang sudah dibuat memiliki bentuk fisik seperti pada Gambar 4. Proses penggunaan alat ini dimulai dengan memanaskan air dalam tangki boiler berkapasitas 11,1 liter dengan terisi air sebanyak 6 liter menyisakan ruang 5,1 liter digunakan untuk menampung uap air. Untuk memproduksi uap menggunakan elemen pemanas air membutuhkan tegangan *input*

220V AC, tegangan yang masuk ke elemen pemanas air dapat diatur melalui dimmer. Elemen pemanas air membutuhkan waktu 30 menit sampai *pressure gauge* bertekanan 3 bar untuk memutar turbin pada menit pertama, pada menit ke 2 dan seterusnya membutuhkan waktu 15 menit untuk memutar turbin selama 1 menit. Pada sistem monitoring membutuhkan tegangan sebesar 6V untuk menyuplai beberapa modul yaitu arduino uno, sensor Lm393, sensor ACS712, sensor tegangan DC, dan MAX6675. Saat uap air dari boiler disalurkan ke turbin untuk memutar turbin sensor MAX6675 membaca nilai suhu uap yang keluar dan sensor Lm393 membaca nilai putaran generator seperti pada Gambar 5.



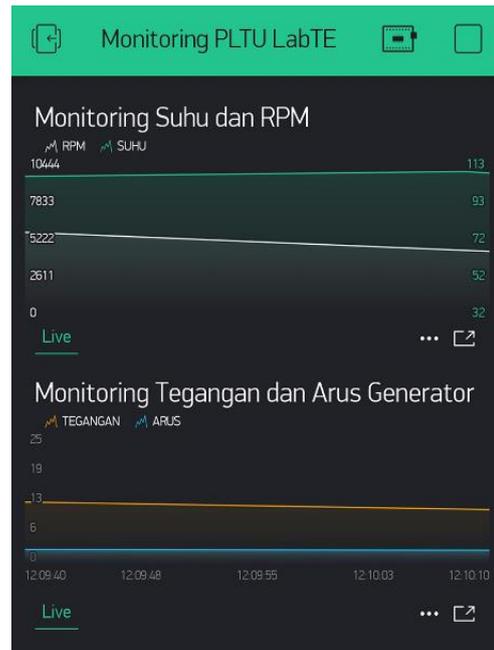
Gambar 4. Bentuk Fisik Prototipe



Gambar 5. Tampilan Awal Blynk

Generator menghasilkan arus dan tegangan DC yang terbaca menggunakan sensor ACS712 dan tegangan DC. Dari empat sensor tersebut mengirimkan data menuju arduino uno. ESP 01

menginisialisasi untuk terhubung ke WiFi dengan ditandakan lampu indikator yang berkedip dan menunjukkan ESP 01 terhubung ke *wifi* dan internet memproses pengiriman hasil sensor. Sensor ACS712, sensor tegangan DC, sensor Lm393, dan sensor MAX6675 mengirim data menggunakan arduino uno dikarenakan ketika dikirim menuju ESP 01 tidak dapat terjadi disebabkan sangat sensitifnya ESP 01 terhadap *delay* ketika salah satu sensor terlambat mengirim nilai. Setelah data sensor dikirim ke arduino uno selanjutnya dikirim ke ESP 01.

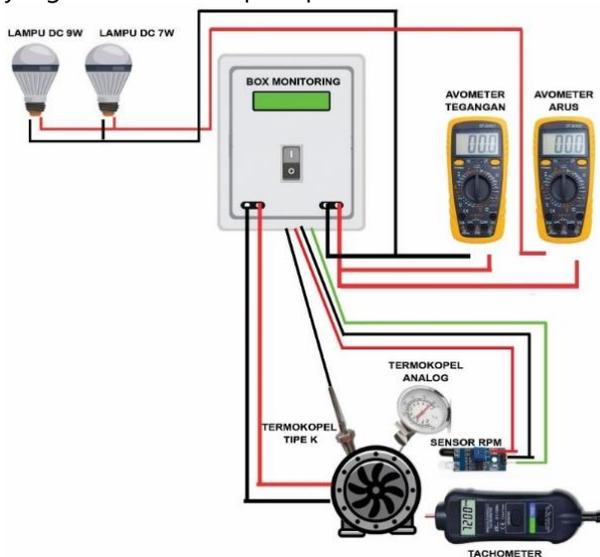


Gambar 6. Tampilan Hasil Pembacaan Sensor Pada Blynk

Setelah data diterima oleh ESP 01, data dikirim ke aplikasi blynk secara real time dan terus menerus melalui sambungan WiFi yang telah terhubung ke dalam ESP 01. Didalam aplikasi *blynk* sudah diprogram menjadi 2 bagian, dalam satu bagian terdapat 2 sensor sesuai dengan input data 4 sensor, hasil pembacaan sensor ditampilkan dalam bentuk grafik garis seperti yang terlihat pada Gambar 6.

Pengujian dan pengambilan data menggunakan alat ukur standar dalam 5 kali percobaan setiap percobaan selama 5 menit. Dalam 1 percobaan pengukuran dilakukan pada saat uap boiler bertekanan 3 bar untuk memutar turbin selama 1 menit, pada menit selanjutnya membutuhkan waktu 15 menit untuk menghasilkan ulang uap bertekanan 3 bar, alat monitoring PLTU mini lab dioperasikan sampai menyalakan lampu DC 7 watt dan 9 watt selama 5

menit. Skema rangkaian pengukuran monitoring yang telah dibuat seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Blok Diagram Pengukuran Tegangan, Arus, Putaran Turbin dan Suhu Uap

Pengujian Sensor Suhu

Pengujian sensor suhu dilakukan dalam 5 kali percobaan setiap percobaan selama 5 menit pada sensor suhu MAX6675 bertujuan untuk mengetahui kinerja dari sensor suhu uap diletakkan pada turbin yang dibandingkan dengan alat ukur manual seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sensor Suhu

Percobaan ke	Besar Beban Lampu (Watt)	Waktu (Menit)	Suhu Uap (°C) Termometer	Suhu Uap (°C) Sensor	Selisih	Selisih %
1	Tanpa Beban	1	31	30,25	0,75	0,02
	16	2	115	110,75	4,25	0,03
	16	3	110	105,15	4,85	0,04
	16	4	105	102,75	2,25	0,02
	16	5	120	115,25	4,75	0,03
2	Tanpa Beban	1	31	30,25	0,75	0,02
	16	2	105	102,75	2,25	0,02
	16	3	115	110,75	4,25	0,03
	16	4	120	115,25	4,75	0,03
	16	5	102	100,15	1,85	0,01
3	Tanpa Beban	1	31	30,25	0,75	0,02
	16	2	115	110,75	4,25	0,03
	16	3	115	110,75	4,25	0,03
	16	4	105	102,75	2,25	0,02
	16	5	115	110,75	4,25	0,03
4	Tanpa Beban	1	31	30,25	0,75	0,02

Percobaan ke	Besar Beban Lampu (Watt)	Waktu (Menit)	Suhu Uap (°C) Termometer	Suhu Uap (°C) Sensor	Selisih	Selisih %
5	16	2	120	115,25	4,75	0,03
	16	3	115	110,75	4,25	0,03
	16	4	110	105,15	4,85	0,04
	16	5	115	110,75	4,25	0,03
	Tanpa Beban	1	31	30,25	0,75	0,02
5	16	2	102	100,15	1,85	0,01
	16	3	102	100,15	1,85	0,01
	16	4	105	102,75	2,25	0,02
	16	5	100	95,25	4,75	0,04

Berdasarkan pada Tabel 1 didapat hasil pengukuran sensor suhu uap pada turbin dengan pengujian 5 kali percobaan setiap percobaan selama 5 menit mendapat suhu uap minimal 30,25°C, suhu uap maksimal 115,25°C dan menggunakan pengukur suhu dari termometer sebagai pembandingan didapatkan suhu uap minimal 31°C, suhu uap maksimal 120°C. Selisih dari perbandingan sensor dengan termometer sekitar 0,75 – 4,85°C. Rata-rata persentase kesalahan pengukuran pada sensor sebesar 0,03%.

Pengujian Sensor Putaran Turbin

Pengujian sensor putaran turbin yang dilakukan dalam 5 kali percobaan setiap percobaan selama 5 menit pada sensor Lm393 bertujuan untuk mengetahui kinerja dari sensor putaran turbin diletakkan pada poros turbin yang dibandingkan dengan alat ukur manual (Tabel 2).

Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor Putaran Turbin

Percobaan ke	Besar Beban Lampu (Watt)	Waktu (Menit)	Putaran (RPM) Tachometer Standar	Putaran (RPM) Hasil Sensor	Selisih	Selisih %
1	Tanpa Beban	1	0	0	0	0
	16	2	5756	5632	124	0,02
	16	3	5558	5416	142	0,02
	16	4	5359	5227	132	0,02
	16	5	5847	5712	135	0,02
2	Tanpa Beban	1	0	0	0	0
	16	2	5366	5222	144	0,02
	16	3	5722	5644	78	0,01
	16	4	5877	5733	144	0,02
	16	5	5022	4922	100	0,01
3	Tanpa Beban	1	0	0	0	0
	16	2	5522	5344	178	0,03

Percobaan ke	Besar Beban Lampu (Watt)	Putaran Waktu (Menit)	Putaran (RPM) Tachometer Standar	Putaran (RPM) Hasil Sensor	Selisih	Selisih %
	16	3	5584	5472	112	0,02
	16	4	5346	5235	111	0,02
	16	5	5658	5560	98	0,01
4	Tanpa Beban	1	0	0	0	0
	16	2	5813	5700	113	0,01
	16	3	5702	5532	170	0,02
	16	4	5518	5422	96	0,01
	16	5	5451	5301	150	0,02
5	Tanpa Beban	1	0	0	0	0
	16	2	4992	4823	169	0,03
	16	3	4738	4602	136	0,02
	16	4	5342	5204	138	0,02
	16	5	4519	4404	115	0,02

Berdasarkan pada Tabel 2 didapat hasil pengukuran sensor putaran turbin dengan pengujian 5 kali percobaan setiap percobaan selama 5 menit mendapat putaran turbin minimal 4404 RPM, putaran turbin maksimal 5733 RPM dan menggunakan pengukur putaran dari tachometer sebagai pembandingan didapatkan putaran turbin minimal 4519 RPM, putaran turbin maksimal 5877 RPM. Selisih dari perbandingan sensor dengan termometer sekitar 98 – 178 RPM. Dari data tersebut didapatkan rata-rata persentase kesalahan pengukuran pada sensor sebesar 0,01%.

Pengujian Sensor Tegangan Generator

Pengujian dilakukan dalam 5 kali percobaan setiap percobaan selama 5 menit pada sensor tegangan DC untuk mengetahui kinerja dari sensor tegangan diletakkan pada box monitoring yang dibandingkan dengan alat ukur manual. Hasil pengujian disampaikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Tegangan DC

Percobaan ke	Besar Beban Lampu (Watt)	Tegangan Waktu (Menit)	Tegangan (V) Multimeter Standar	Tegangan (V) Hasil Sensor	Selisih	Selisih %
1	Tanpa Beban	1	0	0	0	0
	16	2	13,4	12,6	0,8	0,05
	16	3	11,4	10,6	0,8	0,07
	16	4	9,3	8,5	0,8	0,08
	16	5	14,5	13,6	0,9	0,06
2	Tanpa Beban	1	0	0	0	0
	16	2	9,4	9	0,4	0,04
	16	3	13,6	12,8	0,8	0,05
	16	4	14,5	13,9	0,6	0,04

Percobaan ke	Besar Beban Lampu (Watt)	Tegangan Waktu (Menit)	Tegangan (V) Multimeter Standar	Tegangan (V) Hasil Sensor	Selisih	Selisih %
3	16	5	7,5	6,8	0,7	0,09
	Tanpa Beban	1	0	0	0	0
	16	2	11,6	9,8	1,8	0,15
	16	3	11,8	10,6	1,2	0,10
	16	4	9,4	8	1,4	0,14
	16	5	12,4	11,2	1,2	0,09
4	Tanpa Beban	1	0	0	0	0
	16	2	14,4	13,2	1,2	0,08
	16	3	13,6	11,6	2	0,14
	16	4	11,4	10	1,4	0,12
	16	5	10,2	9,6	0,6	0,05
	5	Tanpa Beban	1	0	0	0
16		2	8,9	7,5	1,4	0,15
16		3	8,4	7,6	0,8	0,09
16		4	9,4	8,8	0,6	0,06
16		5	7,2	6	1,2	0,16

Berdasarkan pada Tabel 3 didapat hasil pengukuran sensor tegangan DC dengan pengujian 5 kali percobaan setiap percobaan selama 5 menit dengan besar beban lampu 16 W mendapat tegangan generator minimal 6 V, tegangan generator maksimal 13,9 V dan menggunakan pengukur tegangan dari multimeter sebagai pembandingan didapatkan tegangan generator minimal 7,2 V, tegangan generator maksimal 14,5 V. Selisih dari perbandingan sensor dengan termometer sekitar 0,4 – 2 V. Dari data tersebut didapatkan rata-rata persentase kesalahan pengukuran pada sensor sebesar 0,07%

Pengujian Sensor Arus Generator

Pengujian dilakukan 5 dalam kali percobaan setiap percobaan selama 5 menit pada sensor ACS712 untuk mengetahui kinerja dari sensor arus diletakkan pada box monitoring yang dibandingkan dengan alat ukur manual. Hasil pengujian disampaikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Arus

Percobaan ke	Besar Beban Lampu (Watt)	Waktu (Menit)	Arus (A) Multimeter Standar	Arus (A) Hasil Sensor	Selisih	Selisih %
1	Tanpa Beban	1	0	0	0	0
	16	2	1,48	1,4	0,08	0,05
	16	3	1,26	1,17	0,09	0,07
	16	4	1,03	0,94	0,09	0,08
	16	5	1,61	1,51	0,1	0,06
2	Tanpa Beban	1	0	0	0	0

		Beban				
	16	2	1,04	0,1	0,94	0,90
	16	3	1,44	1,42	0,02	0,01
	16	4	1,61	1,54	0,07	0,04
	16	5	0,8	0,75	0,05	0,06
		Tanpa Beban				
3		1	0	0	0	0
	16	2	1,28	1,08	0,2	0,15
	16	3	1,31	1,17	0,14	0,10
	16	4	1,04	0,88	0,16	0,15
	16	5	1,37	1,24	0,13	0,09
		Tanpa Beban				
4		1	0	0	0	0
	16	2	1,6	1,46	0,14	0,08
	16	3	1,51	1,28	0,23	0,15
	16	4	1,26	1,11	0,15	0,11
	16	5	1,13	1,06	0,07	0,06
		Tanpa Beban				
5		1	0	0	0	0
	16	2	0,98	0,83	0,15	0,15
	16	3	0,93	0,84	0,09	0,09
	16	4	1,03	0,97	0,06	0,05
	16	5	0,8	0,66	0,14	0,17

Berdasarkan pada Tabel 4 didapat hasil pengukuran sensor arus dengan pengujian 5 kali percobaan setiap percobaan selama 5 menit dengan besar beban lampu 16 W mendapat arus generator minimal 0,1 A, arus generator maksimal 1,54 A dan menggunakan pengukur arus dari multimeter sebagai pembanding didapatkan arus generator minimal 0,8 A, arus generator maksimal 1,61 A. Selisih dari perbandingan sensor dengan termometer sekitar 0,1 – 0,94 A. Dari data tersebut didapatkan rata-rata persentase kesalahan pengukuran pada sensor sebesar 0,10%.

KESIMPULAN DAN SARAN

Terdapat beberapa kesimpulan dari penelitian rancang bangun monitoring Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) skala laboratorium sebagai berikut:

- Rancang bangun monitoring arus, tegangan, kecepatan putar turbin, dan suhu berbasis IoT pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) mini skala laboratorium menggunakan alat dan bahan yaitu arduino uno, ESP 01, Sensor Lm393, Sensor ACS712, Sensor Tegangan DC 0-25 Volt, MAX6675. Sensor akan membaca suhu uap, putaran turbin, tegangan dan arus generator, hasil nilai sensor akan ditampilkan pada blynk dan LCD berukuran 16x2.
- Hasil dari pengukuran dengan alat dan monitoring di blynk mencatat hasil persentase error:
 - Pengukuran sensor suhu uap dengan tanpa beban minimal suhu uap: 30,25°C,

maksimal suhu uap: 115,25°C, dengan rata-rata presentase kesalahan pengukuran sebesar 0,03%.

- Pengukuran sensor putaran turbin dengan tanpa beban minimal putaran turbin: 4404 RPM, maksimal putaran turbin: 5733 RPM, dengan rata-rata presentase kesalahan pengukuran sebesar 0,01%.
- Pengukuran sensor tegangan minimal tegangan generator: 6 V, maksimal tegangan generator: 13,9 V, dengan rata-rata presentase kesalahan pengukuran sebesar 0,07%.
- Pengukuran sensor arus minimal arus generator: 0,1 A, maksimal arus generator: 1,54 A, dengan rata-rata presentase kesalahan pengukuran sebesar 0,10%.

Saran dari penelitian ini sebagai berikut:

- Penempatan sensor Lm393 bisa agak berjauhan dengan turbin karena uap yang keluar dari celah turbin mengakibatkan sensor menjadi rusak.
- Selang uap bisa menggunakan bahan tahan panas diatas suhu 100°C dikarenakan suhu uap yang dihasilkan bisa mencapai suhu 100°C.
- Sistem monitoring bisa menggunakan aplikasi lainnya selain blynk dikarenakan berbayar.
- Menambahkan *safety valve* boiler pengaman tekanan uap berlebih.
- Posisi boiler dirubah mnejadi vertikal dikarenakan pada posisi horizontal uap yang dihasilkan kurang maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Choir, A. A., Setiawan, B. I., & Saptomo, S. K. (2012). Rancangan dan Uji Coba Otomatisasi Irigasi Kendi. *Skripsi Pada Institut Pertanian Bogor*. <https://www.academia.edu/download/55741513/F12aac.pdf>
- Elfinurfadri, F., Rasyid, R., & Nasbey, H. (2015). Pengembangan Miniatur Pembangkit Listrik Tenaga Air Sebagai Media Pembelajaran Fisika Sekolah Menengah Atas (SMA). *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF2015, IV*, 77–80.
- Fasya, A. M. (2019). *Pengukur Arus, Tegangan, Dan Kecepatan Generator Berbasis Arduino Uno Pada Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Pikhidro*. Universitas Negeri Yogyakarta.

- Firdaus, F., & Abduh, S. (2016). Perancangan Sistem Otomasi Tekanan Uap, Suhu, dan Level Air pada Distilasi Air dan Uap menggunakan Mikrokontroler. *JETri*, 14(1), 75–88.
- Hidayat, T., Fitrianingrum, L., Hudiwasono, K., & Kunci, K. (2021). Penerapan Prinsip Efektif dan Efisien dalam Pelaksanaan Monitoring Kegiatan Penelitian. *Badan Perencanaan Pembangunan, Penelitian Dan Pengembangan Kota Bandung*, 42–50.
- Janwardi, T. I. (2020). Prediksi Peningkatan Kebutuhan Tenaga Listrik Provinsi Jambi Tahun. *ELTI Jurnal Elektronika, Listrik Dan Teknologi Informasi Terapan*, 2, 21–25.
- Labiba, Z. A. (2017). *Rancang Bangun Sistem Monitoring Temperatur Steam Output Terintegrasi HMI (Human Machine Interface) pada mini plant boiler di Workshop Instrumentasi Design Of Temperature Monitoring Steam Output Integrated Of HMI (Human Machine Interface) On Mini Plan*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- PLN. (2015). 2015 - 2024. *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2015-2024*, 1–515.
- Prasetya, H. E. G., & Mujahidin, A. Q. (2021). Sistem Pengendalian Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Menggunakan Metode Plantwide Control. *Setrum: Sistem Kendali-Tenaga-Elektronika-Telekomunikasi-Komputer*, 10(1), 49–64. <https://doi.org/10.36055/setrum.v10i1.11225>
- Pratama, F. D., Pribadi, Y. J., & Utomo, G. P. (2021). Penerapan Siklus Rankine Pada Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Sederhana Sebagai Media Pembelajaran. *Publikasi Online Mahasiswa Teknik Mesin*, 4(2).
- Putri, A. D. (2014). *PROTOTYPE STEAM POWER PLANT (Analisis heat Loss pada Unit Boiler Furnace dan Super Heater)*. 7, 1–4. <http://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=1299745&val=17494&title=Prototype Steam Power Plant Analisis Heat Loss Pada Unit Boiler Furnace Dan Superheater>
- Rahmtullah, R., Anwar, R. I. Y., & Amin, M. (2021). *Sistem Informasi Monitoring Kerusakan Peralatan Berbasis Web Pada Pln (Unit Pelaksana Pembangkitan) Upk Asam Asam Unit 3 Dan 4*. 12. http://eprints.uniska-bjm.ac.id/5998/1/Rajibi_Rahmatullah_Artikel_16630702.pdf
- Syamsuar, & Reflianto. (2018). Pendidikan dan Tantangan Pembelajaran Berbasis Teknologi Informasi di Era Revolusi Industri 4.0. *Jurnal Ilmiah Teknologi Pendidikan*, 6(2), 1–13. <http://ejournal.unp.ac.id/index.php/e-tech/article/view/101343/100535>
- Zariatin, D. L., P, I. R., & Azzam, R. K. (2018). *Analisis Kinerja Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Uap Skala Laboratorium yang Memanfaatkan Kalor Hasil Pembakaran Proses Pirolisis*. 70–75. <https://teknik.univpancasila.ac.id/semrestek/prosiding/index.php/12345/article/view/215/200>