Rancang Bangun Sistem Warning Alarm Cooling Tower dan Kompresor Sentral Berbasis Sistem Pakar Forward Chaining serta Data Logging

Mohammad Iqbaal Irfan Satria[*1], Septriandi Wirayoga S.T.,M.T.[2], Muhammad Raihan Nafis [3,]
[1,2,3]Program Studi Teknik Elektronika, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Indonesia
Email: [1]iqbalirfan2306@gmail.com, [2]@gmail.com, [3]yakutunnafis445@gmail.com

Nomor Handphone : 089603802315

Abstrak

Industri manufaktur plastik membutuhkan kestabilan suhu dan tekanan udara untuk menjaga kualitas hasil produksi serta meminimalkan *downtime* mesin. Permasalahan yang sering terjadi adalah keterlambatan deteksi gangguan pada *cooling tower* dan kompresor sentral akibat proses pemantauan yang masih dilakukan secara manual. Penelitian ini bertujuan merancang sistem *warning alarm* berbasis *expert system* menggunakan metode *forward chaining* dan *data logging* untuk mendeteksi kondisi abnormal secara otomatis dan *real-time*. Sistem menggunakan sensor suhu DS18B20 dan sensor tekanan Wisner WPT-83G yang diproses menggunakan mikrokontroler ESP32. Metode *forward chaining* diterapkan melalui aturan IF–THEN untuk mengklasifikasikan kondisi mesin ke dalam kategori normal, peringatan, dan kritis. Hasil pembacaan sensor ditampilkan melalui *display* dan diintegrasikan dengan alarm otomatis sebagai peringatan dini kepada teknisi. Selain itu, data operasional mesin disimpan ke *Firebase* dan *Google Spreadsheet* sebagai media *data logging* dan analisis performa mesin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu meningkatkan efektivitas pemantauan, mempercepat penanganan gangguan, serta mendukung digitalisasi pemeliharaan mesin pada industri manufaktur.

Kata kunci: *kompresor, data logging,* ESP32, *Forward Chaining , LoRa*

Abstract

Plastic manufacturing industries require stable temperature and air pressure conditions to maintain product quality and minimize machine downtime. One of the main problems encountered is the delay in detecting failures in cooling tower and central compressor systems due to manual monitoring processes. This research aims to design a warning alarm system based on an expert system using the forward chaining method and data logging technology to detect abnormal conditions automatically and in real time. The system utilizes DS18B20 temperature sensors and Wisner WPT-83G pressure sensors processed by an ESP32 microcontroller. The forward chaining method is implemented through IF–THEN rules to classify machine conditions into normal, warning, and critical categories. Sensor readings are displayed through display devices and integrated with an automatic alarm system to provide early warnings for technicians. In addition, machine operational data are stored in Firebase and Google Spreadsheet as data logging media and machine performance analysis tools. The results show that the developed system improves monitoring effectiveness, accelerates disturbance handling, and supports the digitalization of industrial machine maintenance processes.

Keywords: *Compressor, data logging, ESP32, Forward Chaining , LoRa*

This work is an open access article and licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

PENDAHULUAN

Industri manufaktur adalah industri yang bergerak dibidang pengolahan bahan mentah menjadi bahan siap pakai atau pun bahan setengah jadi. Industri manufaktur plastik berfokus pada pemprosesan resin/biji plastic menjadi bahan setengah jadi/siap pakai menggunakan beberapa metode pemprosesan [1]. Industri manufaktur plastik memerlukan sistem pendukung produksi yang mampu bekerja secara stabil untuk menjaga kualitas hasil produksi dan keberlangsungan proses operasional. Salah satu komponen penting dalam proses tersebut adalah cooling tower dan kompresor sentral yang berfungsi menjaga kestabilan suhu serta tekanan udara pada mesin produksi[2], [3]. Gangguan pada kedua sistem tersebut dapat menyebabkan penurunan kualitas produk, meningkatnya downtime, serta kerugian operasional perusahaan[4], [5]. Pada praktiknya, proses pemantauan

kondisi mesin masih banyak dilakukan secara manual sehingga sering menyebabkan keterlambatan deteksi gangguan dan penanganan kerusakan.

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) dan expert system memungkinkan diterapkannya sistem monitoring cerdas berbasis sensor dan mikrokontroler untuk membantu proses pemantauan mesin secara otomatis dan real-time[6], [7]. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah forward chaining, yaitu metode penalaran berbasis aturan IF–THEN yang mampu menentukan kondisi sistem berdasarkan data yang diterima[8]. Metode ini dapat membantu teknisi dalam melakukan analisis kondisi mesin secara lebih cepat dan konsisten.

Pada penelitian ini dirancang sistem warning alarm berbasis expert system forward chaining dan data logging untuk memantau kondisi cooling tower dan kompresor sentral. Sistem menggunakan sensor suhu DS18B20 dan sensor tekanan Wisner WPT-83G yang diproses menggunakan mikrokontroler ESP32 [9], [10]. Hasil pembacaan sensor dianalisis menggunakan metode forward chaining untuk menentukan kondisi mesin dalam kategori normal, peringatan, atau kritis. Selain itu, sistem dilengkapi alarm otomatis dan penyimpanan data berbasis Firebase serta Google Spreadsheet untuk mendukung pemantauan dan analisis performa mesin secara berkelanjutan [11], [12].

Tujuan penelitian ini adalah merancang sistem monitoring dan warning alarm yang mampu mendeteksi gangguan pada cooling tower dan kompresor sentral secara otomatis dan real-time. Ruang lingkup penelitian meliputi perancangan perangkat keras berbasis ESP32, implementasi sensor suhu dan tekanan, penerapan metode forward chaining, komunikasi data menggunakan LoRa, serta integrasi data logging berbasis IoT untuk mendukung efektivitas pemeliharaan mesin industri.

METODE PENELITIAN

2.1 Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data dimulai dari observasi langsung pada area *utility* dimana tempat kompresor dan *cooling tower* sentral berada. Wawancara langsung juga di lakukan, sebagaimana dengan rancangan penggunaan *expert system* yang mengharuskan menggunakan pengetahuan pakar/ahli sebagai acuan pemrosesan logika. Kemudian perumusan masalah dapat dikemukakan dan dilanjutkan dengan perancangan sistem yang menjadi solusi dari perumusan masalah.

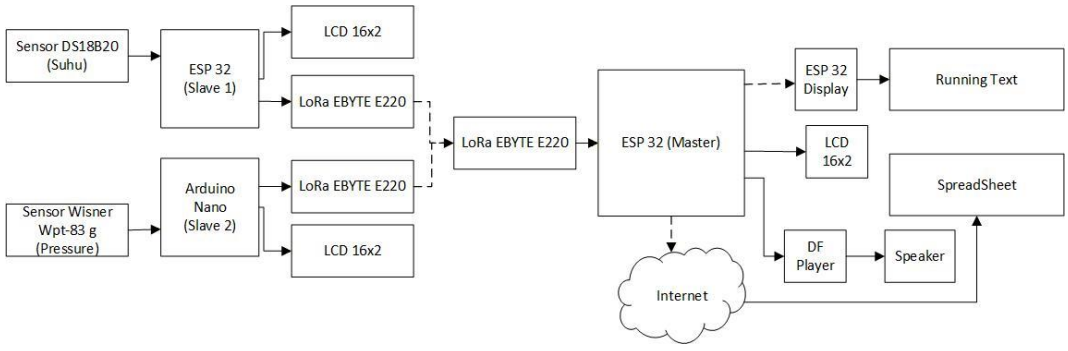
Berfokus pada suplai utama produksi manufaktur plastik, terdapat kompresor dan *cooling tower* yang harus mendapatkan perhatian lebih agar tidak mengganggu kontinuitas operasional industri.

2.2 Perancangan Sistem

Sistem yang akan diterapkan dalam penelitian ini menggunakan sensor DS18B20 sebagai sensor suhu untuk memantau produksi air pendingin dari cooling tower, dan sesnor wisner wpt-83g sebagai sensor tekanan untuk memantau produksi tekanan udara yang didistribusikan langsung ke dalam mesin produksi. Sistem pemrosesan hasil data baca sensor menggunakan ESP32 dengan menerapkan komunikasi data nirkabel yang bertujuan untuk mengurangi resiko penggunaan kabel berlebih, dengan menggunakan *slave* dan *master*[13].

Hasil data baca sensor dikirimkan melalui modul LoRa menuju *master* untuk memproses data baca sensor menggunakan logika *expert system forward chaining*. Kemudian, *master* akan mengirimkan hasil pemrosesan tersebut ke display terpusat (*running text*) menggunakan metode ESP-NOW[14], dan mengirimkan hasil pemrosesan pula ke *spreadsheet* sebagai pencatatan tertulis kondisi *cooling tower* dan kompresor sentral, serta melakukan inisiasi *alarm* ketika terjadi kondisi abnormal [15].

2.3 Diagram Blok Sistem



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem pada Gambar 1 menggambarkan arsitektur cara kerja sistem pemantauan cooling tower dan kompresor sentral, yang terdiri dari komunikasi data, aktuator alarm, dan media pencatatan tertulis. Pada bagian input terdapat slave 1 dan 2 yang masing – masing terdapat sensor untuk melakukan pemantauan, sensor DS18B20 untuk suhu cooling tower, sedangkan sesnsor wisner wpt-83g untuk pemantauan tekanan udara pada kompresor sentral.

Data dari kedua input dikirimkan menggunakan media nirkabel modul LoRa EBYTE E220 sebagai *transmitter* yang kemudian diterima oleh LoRa *receiver* yang terintegrasi pada sistem *master*. Pada sistem *master*, berfungsi sebagai pusat pengolahan data yang diterima dari input. Pemrosesan data menggunakan logika *expert system forward chaining* dengan menggunakan acuan studi literatur dan pengetahuan ahli pada bidangnya. Hasil pemrosesan data pada sistem *master* akan dikirimkan ke 2 distribusi berbeda menggunakan media internet sebagai transmisi datanya.

Distribusi pertama, hasil pemrosesan dikirimkan menuju *display running text* sebagai display terpusat pada area instalasi. Display ini dapat menampilkan kondisi hasil produksi air pendingin dan tekanan udara serta status kondisi yang saat itu terjadi, ketika alarm yang terintegrasi dengan sistem master terinisiasi, display juga akan menampilkan status kondisi yang menyatakan keadaan abnormal.

Distribusi kedua adalah pencatatan kinerja (data historis) menggunakan media spreadsheet. Pencatatan ini akan terjadi selama 15 menit sekali pada saat sistem normal, ketika sistem terindikasi abnormal, 15 menit sekali akan diabaikan dan kondisi abnormal tersebut akan langsung tercatat pada media spreadsheet

2.4 Perancangan *Expert System*

Perancangan pemrosesan logika *expert system forward chaining* ditentukan pada ambang batas masing-masing data baca sensor.

Tabel 1. Parameter Uji dan Ambang Batas

Parameter	Ambang Batas
Temperatur Cooling Tower	20℃ - 22℃
Tekanan Udara (Pressure Udara) Kompresor Sentral	6 Bar – 8 Bar

Tabel 2. *Knowledge Base*

No	Ambang Batas	Keterangan
1	18℃ - 24℃	Suhu Normal
2	<18 ℃	Suhu Terlalu Rendah
3	>24℃	Suhu Terlalu Tinggi
4	5,5 Bar – 8,5 Bar	Tekanan Udara Normal

Tabel 3. Kode Kerusakan

Kode Masalah	Variabel Uji
PS1	>24℃
PS2	<18℃
PS3	18℃ == 24℃
PP4	> 8,5 Bar
PP5	<5,5 Bar
PP6	5,5 Bar == 8,5 Bar

Tabel 4. Klasifikasi ambang batas

Kode Kerusakan	>=	==	<=
SUHU (PS)	Terlalu Tinggi	Normal	Terlalu Rendah
PRESSURE (PP)	Terlalu Tinggi	Normal	Terlalu Rendah

Tabel 5. Alarm Kondisi

No	Nama Audio	Kondisi
1	0001	CRITICAL
2	0002	SUHU TERLALU PANAS
3	0003	SUHU TERLALU DINGIN
4	0004	PRESSURE UDARA TERLALU RENDAH
5	0005	PRESSURE UDARA TERLALU TINGGI

Tabel .6 Alur Pemrosesan

No	Inferensi	Fakta	Diagnosis	Dampak	Alarm	Keputusan
1	PS1 & PP6	Suhu Terlalu Panas	Gagguan sistem Pendingin	Botol Produksi Lembek	0002 Play	SEGERA CEK SISTEM LOOP PENDINGIN
2	PS 2 & PP6	Suhu Terlalu Dingin	Sistem Pendingin Overcooling	Botol Produksi Terlalu Keras	0003 Play	CEK FLOW PADA EVAPORATOR
3	PS 3 & PP6	Sistem Terkendali	Sistem Terkendali	Botol Produksi Maksimal	Off	Sistem Normal
4	PP4 & PS3	Pressure Udara Terlalu Tinggi	Tekanan Udara Berlebih	Botol Mekar/Volume bertambah	0004 Play	CEK ULANG KEBUTUHAN PRESSURE
5	PP5 & PS3	Pressure Udara Terlalu Rendah	Tekanan Udara Kurang	Botol tidak tercetak degan sempurna	0005 Play	CEK KONDISI KOMPRESOR
6	PS 1 & PS 4	Suhu Terlalu Panas dan Tekanan Udara	Critical Suhu Panas dan Pressure Tinggi	Dimensi botol tidak merata	0001 Play	CEK LOOP SISTEM PENDINGIN DAN CEK VALVE

7	PS 2 & PS 4	Terlalu Tinggi Suhu Terlalu Dingin dan Tekanan Udara Terlalu Tinggi	Critical Suhu Terlalu Dingin dan Pressure Tinggi	Botol Retak	0001 Play	PEMBUANGAN CEK SISTEM SUMBATAN KONDENSOR DAN CEK VALVE PEMBUANGAN
8	PS 1 & PS 5	Suhu Terlalu Panas dan Tekanan Udara Terlalu Tinggi	Critical Suhu Panas dan Pressure Rendah	Botol Sangat Lembek	0001 Play	CEK SISTEM LOOP PENDINGIN DAN CEK FILTER UDARA
9	PS 2 & PS 5	Suhu Terlalu Dingin dan Tekanan Udara Terlalu Rendah	Critical Suhu Terlalu Dingin dan Pressure Rendah	Botol produksi rapuh	0001 Play	CEK SUMBATAN KONDENSOR DAN CEK FILTER UDARA

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Implementasi Sistem

Sistem pemantauan *cooling tower* dan kompresor sentral berhasil diimplementasikan dengan menggunakan ESP 32 dan *display running text* sebagai media pemantauan terpusat dan *real time*. Perancangan peletakan *slave* 1 dan 2 telah di tempatkan sedemikian rupa, sehingga dapat mendapatkan data baca sensor yang cukup dekat dengan objek deteksi, sehingga dapat memaksimalkan hasil data baca masing-masing sensor.

Pada peletakan *slave* 1 didapatkan jarak dengan *master* 160 m, dan pada peletakan *slave* 2 didapatkan jarak 340 m dengan *master*. Peletakan sistem *slave* dengan jarak *master* telah dimaksimalkan degan sedemikian rupa agar mendapatkan hasil data baca, dan kemampuan penerimaan data yang baik. Pada pengiriman sistem *master* ke display juga ditempatkan sangat dekat, hanya berjarak sekitar 20 cm antara *master* dan *display*, jadi pemaksimalan komunikasi data telah terancang dan terimplementasi dengan baik.

Perubahan secara adaptif juga diterapkan dalam *master* ke *display*, ketika master mendapati hasil pemrosesan data baca terindikasi abnormal, *master* akan langsung menginisiasi alarm sehingga memberikan alarm kondisi, serta mengirimkan data abnormal ke *display* untuk di tampilkan status kondisi yang sedang terjadi.

Hasil pemrosesan data baca tersebut dikirimkan ke pencatatan data menggunakan media *google spreadsheet* yang telah terintegrasi dengan ESP *master*. Pencatan tersebut dapat digunakan sebagai analisis lanjutan terkait kinerja kompresor dan *cooling tower* berdasarkan hasil kalkulasi keseluruhan keadaan norma maupun abnormal.

3.2 Pengujian Sensor Suhu

Pengujian sensor suhu (DS18B20) dilakukan dengan cara membandingkan hasil data baca sensor DS18B20 dengan termometer digital. Pengujian ini bertujuan untuk meningkatkan akurasi pembacaan sensor DS18B20 yang akan diimplementasikan pada pengukuran suhu *cooling tower*.

Tabel 7. Pengujian Sensor Suhu

Pengujian	Hasil pengujian		Selisih
	DS18B20	PAN ASIA EliWell	
1	18,8 ℃	19℃	0,2 (1,05%)
2	19,8 ℃	20℃	0,1 (1,0%)
3	20,9 ℃	21℃	0,1 (0,48%)
4	19,8 ℃	20℃	0,2 (1,0%)
5	17,8℃	18℃	0,2 (1,11%)
6	24,9℃	25℃	0,1 (0,40%)
7	16,8℃	17℃	0,2 (1,18%)
8	23,8℃	24℃	0,2 (0,83%)

$$Total\ Error\ Keseluruhan\ (\%) = \frac{Total\ Selisih}{Jumlah\ Data} = x\ 100\% \qquad (1)$$

Perhitungan akurasi sensor DS18B20 dilakukan dengan membandingkan hasil data baca sensor dengan display suhu *cooling tower* yang telah digunakan sebelumnya. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh hasil rata-rata pembacaan sensor DS18B20 dengan akurasi sebesar 99,12%. Nilai akurasi tersebut menunjukan bahwa sensor DS18B20 dapat memiliki tingkat akurasi yang tinggi dan dapat menyamai pembanding sebelumnya. Dengan hasil perhitungan, sensor DS18B20 dapat diterapkan untuk mengukur nilai pembacaan suhu aktual pada *cooling tower*.

3.3 Pengujian Sensor Tekanan

Pengujian sensor tekanan menggunakan sensor Wisner WPT-83g dengan cara membandingkan hasil pembacaan sensor wisner wpt-83 g dengan *pressure gauge* yang telah diterapkan sebelumnya. Tujuan pengujian sensor tekanan ini adalah untuk mengetahui akurasi pembacaan tekanan udara menggunakan sensor wisner wpt-83 g.

$$Rumus\ Scalling\ Tegangan - Tekanan = \frac{(V - Vmin)}{V_{\max} - V_{min}} = x\ V_{ref} \qquad (2)$$

Tabel 8. Pengujian Sensor Tekanan

Pengujian	Hasil pengujian		Total Error
	Wisner WPT - 83g	e-enhill (Pressure Transmitter konvesional)	
1	1,89 1,90 1,92 1,89	2 Bar	0,116 bar (5,8%)
2	1,82 4,37 4,14	4 Bar	0,05 Bar (1,25%)

	3,97		
	3,79		
	3,75		
	3,68		
	5,84		
3	5,82	6 Bar	0,11 bar
	5,99		(1,83%)
	5,92		
	6,90		
	6,79		
4	6,78	7 Bar	0,16 Bar
	6,84		(2,29%)
	6,93		
	6,81		
	7,71		
	7,84		
5	7,90	8 Bar	0,20 Bar
	7,84		(2,68%)
	7,71		
	7,75		

Berdasarkan perhitungan diatas, rumus dan *mapping* yang digunakan berhasil meningkatkan akurasi dan nilai *error* keseluruhan. Total *Error* yang didapat setelah di kalibrasi mencapai 2,77% dan akurasi meningkat sebesar 97,23 %. Jadi kalibrasi sensor yang dilakukan berhasil menyatakan

3.4 Hasil Klasifikasi Expert System Forward Chaining

Hasil Klasifikasi *expert system* ini hasil dari keputusan pemrosesan data menggunakan metode expert system forward chaining, berdasarkan aturan yang telah di terapkan dengan mengacu pada pembahasan 2 point 2.2 perancangan sistem. Hasil yang didapatkan setelah dilaksanakannya pecobaan selama 4 hari, hasil klasifikasi expert system forward chaining adalah sebagai berikut:

Tabel 9. Hasil Klasifikasi Pemrosesan Data menggunakan Expert System Forward Chaining.

Waktu	Suhu	Pressure	Fakta	Diagnosis	Dampak	Keputusan
03/06/2026 (14:52:37)	21℃	8 Bar	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan

03/06/2026 (15:06:58)	17,7 ℃	8 Bar	Suhu Terlalu Dingin	Sistem Pendingin Over Cooling	Botol Produksi Terlalu Keras	Cek Flow Pada Evaporator
03/06/2026 (15:07:06)	22,5 ℃	8 Bar	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
03/06/2026 (15:22:07)	21,8 ℃	7,9 Bar	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
03/06/2026 (15:37:06)	21,3 ℃	5 Bar	Tekanan Udara Terlalu Rendah	Tekanan Udara Kurang	Botol Tidak Tercetak dengan Maksimal	Cek Kondisi Kompresor
03/06/2026 (15:48:27)	22,6 ℃	8 Bar	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
03/06/2026 (15:50:25)	22,5 ℃	8 Bar	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
Waktu	**Suhu**	**Pressure**	**Fakta**	**Diagnosis**	**Dampak**	**Keputusan**
04/06/2026 (17:25:57)	24,5 ℃	8 Bar	Suhu Terlalu Panas	Gangguan Sistem Pendingin	Botol Produksi Lembek	Cek Loop Pendingin
04/06/2026 (17:30:58	22,9 ℃	8 Bar	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
04/06/2026 (17:45:56)	20 ℃	8 Bar	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
04/06/2026 (19:47:58	26,1 ℃	8 Bar	Suhu Terlalu Panas	Gangguan Sistem Pendingin	Botol Produksi Lembek	Cek Loop Pendingin
04/06/2026 (19:32:53	21,4 ℃	7,9 Bar	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
04/06/2026 (17:47:52	22,2 ℃	8,1 Bar	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan

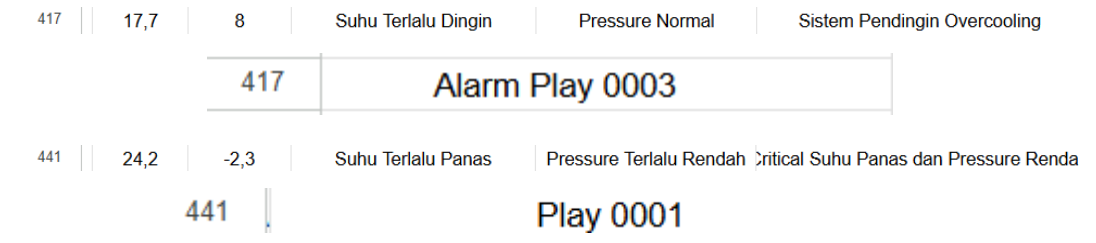
Waktu	Suhu	Pressure	Fakta	Diagnosis	Dampak	Keputusan
05/06/2026 (1:19:55)	26℃	8 Bar	Suhu Terlalu Panas	Gangguan Sistem Pendingin	Botol Produksi Lembek	Cek Loop Pendingin
05/06/2026 (1:32:55)	18,5 ℃	8 Bar	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
05/06/2026 2:47:53	46,1 ℃	8,1 Bar	Suhu Terlalu Panas	Gangguan Sistem Pendingin	Botol Produksi Lembek	Cek Loop Pendingin
05/06/2026 2:50:13	21,2 ℃	7,8 Bar	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
Waktu	**Suhu**	**Pressure**	**Fakta**	**Diagnosis**	**Dampak**	**Keputusan**
06/06/2026 17:08:27	21,2 ℃	8,1 Bar	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
06/06/2026 17:23:14	21,2 ℃	7,9 Bar	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan

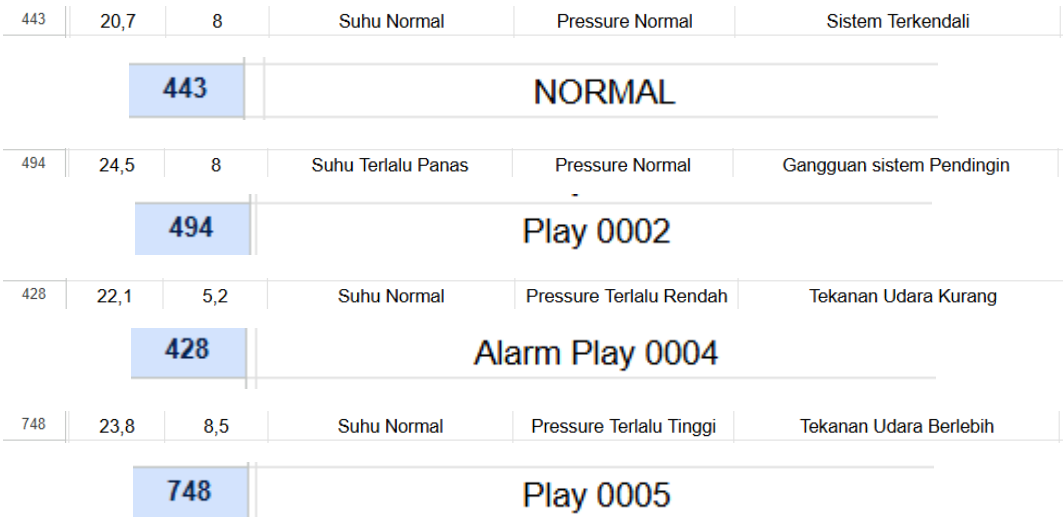
Percobaan dilakukan dengan merangkum data selama 4 hari percobaan, dihari pertama 03 Juni 2026 yang disajikan pada tabel 3 bahwa, pada hari pertama berhasil mengklasifikasikan 2 data abnormal, pada hari kedua juga sistem berhasil mengklasifikasikan 2 data abnormal dan pada hari ketiga, sistem berhasil mengklasifikasikan 2 data abnormal. Pada data tersebut memang belum terklasifikasikan dengan jelas keseluruhan, terutama data *pressure* terlalu tinggi dikarenakan keterbatasan pengujian. Berdasarkan pengujian selama 4 hari, metode ini berhasil mengklasifikasikan data abnormal dengan cukup baik, berdasarkan penjelasan pada tabel 2 pembahasan 3.4.

3.5 Hasil Penerapan Alarm Keputusan

Pada pembahasan pengujian alarm Keputusan, berfungsi sebagai alarm peringatan ketika mesin kompresor dan *cooling tower* mengalami keabnormalan masing-masing ataupun bersamaan dalam satu waktu. Penggunaan alarm pada masing-masing keabnormalan maupun keabnormalan bersamaan dibedakan menjadi beberapa audio, pembedaan audio ini bertujuan untuk memberikan peringatan langsung kepada teknisi maupun individu terkait perihal keabnormalan yang sedang terjadi dan harus segera diatasi.

Tabel 10 . Penerapan Alarm Keputusan





Berdasarkan hasil data pengujian pada tabel 10, perancangan alarm kondisi pada tabel 5 berhasil diterapkan dan berhasil diinisiasi. Pada tabel 10 disajikan bahwa setiap kondisi abnormal terdapat masing-masing alarm kondisi seperti pada perancangan alarm kondisi pada tabel 5. Dapat disimpulkan bahwa alarm kondisi dapat terinisiasi dengan baik menurut kondisi yang telah di berikan.

3.6 Hasil Pengujian Pengiriman Data Logging

Pembahasan ini berpusat pada pencatatan kinerja *cooling tower* dan kompresor sentral yang telah diproses dengan metode *expert system forward chaining*. Pencatatan data ini dapat digunakan sebagai analisis lebih lanjut mengenai kinerja *cooling tower* dan kompresor sentral secara menyeluruh, berdasarkan seberapa sering *cooling tower* dan kompresor sentral mengalami kondisi abnormal dalam kurun waktu permisalan 1 bulan.

Tabel 11. Pengujian Pengiriman Data Spreadsheet

Waktu	Suhu	Pressure	Fakta	Diagnosis	Dampak	Keputusan
03/06/2026 14:52:37	21°C	8 Bar	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
03/06/2026 15:06:58	17,7 °C	8 Bar	Suhu Terlalu Dingin	Sistem Pendingin Over Cooling	Botol Produksi Terlalu Keras	Cek Flow Pada Evaporator
03/06/2026 15:07:06	22,5 °C	8 Bar	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
03/06/2026 15:22:07	21,8 °C	7,9 Bar	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
03/06/2026 15:37:06	21,3 °C	5 Bar	Tekanan Udara Terlalu Rendah	Tekanan Udara Kurang	Botol Tidak Tercetak dengan Maksimal	Cek Kondisi Kompresor

03/06/2026 15:48:27	22,6 ℃	8 Bar	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
03/06/2026 15:50:25	22,5 ℃	8 Bar	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan

Waktu	Suhu	Pressure	Fakta	Diagnosis	Dampak	Keputusan
04/06/2026 17:25:57	24,5 ℃	8 Bar	Suhu Terlalu Panas	Gangguan Sistem Pendingin	Botol Produksi Lembek	Cek Loop Pendingin
04/06/2026 17:30:58	22,9 ℃	8 Bar	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
04/06/2026 17:45:56	20 ℃	8 Bar	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
04/06/2026 19:47:58	26,1 ℃	8 Bar	Suhu Terlalu Panas	Gangguan Sistem Pendingin	Botol Produksi Lembek	Cek Loop Pendingin
04/06/2026 19:32:53	21,4 ℃	7,9 Bar	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
04/06/2026 17:47:52	22,2 ℃	8,1 Bar	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan

Waktu	Suhu	Pressure	Fakta	Diagnosis	Dampak	Keputusan
05/06/2026 1:19:55	26℃	8 Bar	Suhu Terlalu Panas	Gangguan Sistem Pendingin	Botol Produksi Lembek	Cek Loop Pendingin
05/06/2026 1:32:55	18,5 ℃	8 Bar	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
05/06/2026 1:47:53	46,1 ℃	8,1 Bar	Suhu Terlalu Panas	Gangguan Sistem Pendingin	Botol Produksi Lembek	Cek Loop Pendingin
05/06/2026 2:02:13	21,2 ℃	7,8 Bar	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
05/06/	20 ℃	7,8 Bar	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan

2026 2:17:20

Waktu	Suhu	Pressure	Fakta	Diagnosis	Dampak	Keputusan
06/06/2026 17:08:27	21,2 ℃	8,1 Bar	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
06/06/2026 17:23:15	21,2 ℃	7,9 Bar	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
06/06/2026 17:38:220	20,8 ℃	8 Bar	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
06/06/2026 17:53:31	20,1 ℃	7,8 Bar	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
06/06/2026 18:08:31	19,7 ℃	8 Bar	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan

Waktu	Suhu	Pressure	Fakta	Diagnosis	Dampak	Keputusan
07/06/2026 6:53:42	20,5 ℃	8,1	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
07/06/2026 7:08:41	20,9 ℃	7,9	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
07/06/2026 7:23:44	21,1 ℃	8	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
07/06/2026 7:38:45	20,6 ℃	7,8	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
07/06/2026 7:53:43	20℃	7,9	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
07/06/2026 8:08:43	20,3 ℃	7,8	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
07/06/2026 8:23:42	20,6 ℃	7,8	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan

Waktu	Suhu	Pressure	Fakta	Diagnosis	Dampak	Keputusan

08/06/2026 0:08:47	20,6 ℃	8,1 Bar	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
08/06/2026 0:23:52	21,2 ℃	7,9 Bar	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
08/06/2026 0:38:43	20,8 ℃	8,1 Bar	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
08/06/2026 0:53:33	21,2 ℃	8,1 Bar	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
08/06/2026 1:08:44	20,3 ℃	8,1 Bar	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
Waktu	**Suhu**	**Pressure**	**Fakta**	**Diagnosis**	**Dampak**	**Keputusan**
09/06/2026 0:32:07	21,3 ℃	7,9 Bar	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
09/06/2026 0:38:50	20,8 ℃	8,1 Bar	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
09/06/2026 0:53:50	20,1 ℃	8,1 Bar	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
09/06/2026 1:08:50	20,3	8 Bar	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
09/06/2026 1:23:50	20,7	8,1 Bar	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
Waktu	**Suhu**	**Pressure**	**Fakta**	**Diagnosis**	**Dampak**	**Keputusan**
10/06/2026 18:03:57	21	8	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
10/06/2026 18:18:07	21,8	8	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
10/06/2026 18:32:17	21,6	8	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
10/06/2026 18:46	21,3	8	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan

:53 10/06/2026 19:01:53	22,1	8,1	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
10/06/2026 19:17:00	21,6	8,1	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
10/06/2026 19:32:52	21	8,1	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
Waktu	**Suhu**	**Pressure**	**Fakta**	**Diagnosis**	**Dampak**	**Keputusan**
11/06/2026 3:01:53	21	7,9	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
11/06/2026 3:16:53	21,5	8,1	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
11/06/2026 3:31:53	22,3	8,1	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
11/06/2026 3:46:53	21,6	8,1	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan
11/06/2026 4:32:21	22,2	8	Sistem Terkendali	Sistem Normal	Botol Maksimal	Tidak ada Keputusan

Berdasarkan penjelasan data pada tabel 11 yang menganalisis pencatatan data pada *spreadsheet* selama 9 hari, yang dimulai dari tanggal 03 Juni 2026 hingga 11 Juni 2026. Dalam penjelasan data perhari dapat di nyatakan bahwa, delay pengiriman dan otomatisasi pencatatan data ketika normal ke abnormal, abnormal ke normal telah diterapkan dan telah terealisasikan, namun keterbatasan utama di pencatatan ini adalah jaringan internet. Pemaksimalan koneksi internet, ESP 32 dapat mengirim data ke pencatatan data dengan lebih baik dan lebih teratur. Meskipun pencatatan data otomatis terdapat kendala di koneksi internet, klasifikasi data abnormal tetap berjalan pada sistem *master*. Sehingga pencatatan data ini menjadi opsi lanjutan untuk melakukan analisis kinerja lebih lanjut terhadap kinerja *cooling tower* dan kompresor sentral.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Penelitian ini telah berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem *warning alarm* pada *cooling tower* dan kompresor sentral berbasis *expert system forward chaining* dan *data logging*. Sistem yang di implementasikan menggunakan sensor DS18B20 untuk pemantauan suhu hasil air pendingin

cooling tower dan sensor wisner wpt-83g untuk pemantauan hasil tekanan udara kompresor sentral. Pemantauan sistem ini bersifat *real-time* yang dapat berubah mengikuti hasil data baca sensor aktual, serta dapat memberikan alarm kondisi abnormal. Algoritma pemrosesan yang diterapkan pada sistem ini menggunakan *expert system forward chaining* berhasil mengklasifikasikan kondisi abnormal pada *cooling tower* dan kompresor sentral, serta alarm kondisi mengikuti keabnormalan kedua objek uji tersebut. Pencatatan *google spreadsheet*s juga mampu mencatat sesuai dengan kondisi abnormal maupun normal yang sedang terjadi dan telah terjadi. Display terpusat (*running text*) juga mampu menampilkan kondisi aktual *cooling tower* dan kompresor sentral secara terupdate (*real-time*). Implementasi ini diharapkan dapat mengatasi permasalahan hasil output produksi yang disebabkan oleh kegagalan utilitas yang tidak terdapat pemantauan aktual terpusat.

4.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran untuk pengembangan sistem yang telah diterapkan pada penelitian selanjutnya. Antara lain :

1 Pengembangan *Rule Base* juga dapat diberikan tambahan mengenai masalah yang telah terjadi sebelumnya, sehingga dapat meluaskan diagnosis yang dilakukan.
2 Penambahan parameter monitoring seperti sensor getaran pada motor induksi yang dapat menjadikan diagnosis mendekati keakuratan.
3 Penambahan data historis lokal (*database*), sehingga tidak terlalu mengandalkan jaringan internet yang tidak selalu stabil.
4 Integrasi keseluruhan sistem dalam 1 kontrol dan monitoring jarak jauh seperti DCS/SCADA yang dapat memudahkan pemantauan secara berkala.

5. DAFTAR PUSTAKA

[1] N. A. P. Harahap, F. A. Qadri, D. I. Yani, M. Situmorang, and S. Wulandari, “Analisis Perkembangan Industri Manufaktur Indonesia,” vol. 4, no. 6, 2023.

[2] Muhammad Syafei Gozali, “Akuisisi Data Pressure Transmitter melalui CX Supervisor pada STEM Pressure Measurement and Control Plant,” *J. Appl. Electr. Eng.*, vol. Vol 7 No 1, no. Data Acquisition, Pressure Transmitter, PLC CP1H, CX Supervisor, Jun. 2023, doi: https://doi.org/10.30871/jaee.v7i1.5397.

[3] G. E. Slilalahi, “Analisa Aliran Udara pada Compresor Centrifugal untuk Mensuplay Udara Ruang Bakar pada PLTG,” *Medan Area Univ.*, no. aliran udara;compresor centrifugal;udara ruang bakar;PLTG, p. 58, 2016.

[4] I. Pamungkas, H. T. Irawan, M. Basuki, A. E. Ridha, R. A. Syahputra, and F. O. Widarta, “Metode Analisis Risiko Kerusakan Mesin Produksi di Indonesia:,” vol. 1, no. 1, 2023.

[5] P. Henri. C. and M. C, “SISTEM PENGENDALIAN KUALITAS DENGAN BANTUAN EXPERT SYSTEM UNTUK MENURUNKAN TINGKAT KECACATAN PRODUK (Studi Kasus di Perusahaan Pembuat Filaman Lampu),” *J. Tek. Ind.*, vol. Vol 7, No 2, pp. 168–176, Dec. 2018.

[6] F. P. Wedyanti, “Analisis Performasi ESP-NOW Sebagai Protokol Komunikasi Efisien Antar Multi-node dan Gateway dalam Sistem IoT,” vol. 4, no. 1, 2025.

[7] A. Widodo, A. Thia, and I. Mubarokah, “Pemanfaatan Teknologi Industrial Internet of Things (IIoT) untuk Meningkatkan Produktivitas dan Kualitas di Industri Manufaktur,” *J. Pengabdi. Masy. Bangsa*, vol. Vol. 2 No 9, no. IIoT, Manufaktur, Industri 4.0, 2024, doi: https://doi.org/10.59837/jpmba.v2i9.1623.

[8] M. F. D. Nirwana, B. Nadhira, S. F. F. Amjad, A. R. M. Putra, and A. S. Wardhana, “IMPLEMENTASI SISTEM PAKAR BERBASIS FORWARD- DAN BACKWARD-CHAINING UNTUK DIAGNOSA GANGGUAN PROSES FILLING TANK,” vol. 5, 2025.

[9] A. Finali, M. H. M. Billah, E. Trianasari, M. A. Wahid, and P. B. W. Wardhana, “ANALISIS PERBANDINGAN SENSOR TEMPERATUR MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER,” vol. 3, no. 1, 2024.

[10] A. M. Ibrahim, H. M. Louhanapessy, E. U. Armain, R. F. Fauzi, and B. Sulistyo, “Implementasi Sensor Preassure Transmitter WPT-83G Dalam Perancangan mesin Pengecatan Otomatis,” *J. Profesi Ins. Univ. Lampung*, vol. 6, no. 1, Jun. 2025, doi: 10.23960/jpi.v6n1.165.

[11] L. Hanif, “Apa itu Firebase? Pengertian, Jenis, dan Fungsinya,” rumahweb. [Online]. Available: https://www.rumahweb.com/journal/firebase-adalah/

[12] Cakrawala University, “Apa Itu Spreadsheet, Fungsi dan Formula Umumnya,” Cakrawala University. [Online]. Available: https://www.cakrawala.ac.id/berita/apa-itu-spreadsheet

[13] F. N. Fajar, R. A. Priramadhi, and D. Darlis, “Implementasi Modul Lora (Long Range) Dan Micro Sd Untuk Alat Stasiun Cuaca Portabel,” vol. 11, no. 4, Agustus 2024.

[14] N. Tamami *et al.*, “Implementasi Media Informasi Berbasis Running Text untuk Meningkatkan Efisiensi dan Efektivitas Penyampaian Informasi di Kelurahan Keputih,” *J-Din. J. Pengabdi. Masy.*, vol. 10, no. 2, pp. 254–260, Aug. 2025, doi: 10.25047/j-dinamika.v10i2.5625.