

Perancangan Sistem Pemantauan dan Diagnostik Sensor pada Mesin Pembuat Es Kristal NW-458 Terintegrasi HMI Berbasis Mikrokontroler

Muhammad Ichsan Syahreza¹, Aidi Finawan^{2*} Arsy Febrina Dewi³

^{1,3}Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe
Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA

¹ichsansyahreza77@gmail.com

^{2*}aidifinawan@pnl.ac.id (penulis korespondensi)

Abstrak— Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem pemantauan dan diagnostik sensor pada mesin pembuat es kristal Scotsman NW-458 untuk mengatasi keterbatasan deteksi manual pada sensor *level* air dan ketebalan es. Permasalahan yang sering terjadi berupa kabel sensor putus, koneksi longgar, serta penurunan konduktivitas *elektroda*, yang menyebabkan gangguan produksi es dan sulit diidentifikasi secara cepat. Sistem dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali utama, modul INA219 untuk membaca tegangan dan arus sensor, serta aplikasi *Virtuino* berbasis *Android* sebagai *Human Machine Interface* (HMI). Data hasil pembacaan sensor diklasifikasikan oleh ESP32 dan ditampilkan secara *real-time* pada HMI. Uji coba dilakukan pada tiga kondisi sensor *level* (kontak air, tidak kontak, kabel putus/error) dan pembacaan sensor ketebalan es, dengan perbandingan terhadap pengukuran manual. Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu membedakan kondisi sensor *level* dengan selisih tegangan hingga 0,94 V dan arus 0,20–0,40 A. Tingkat akurasi pembacaan modul INA219 dibanding multimeter mencapai 98,7–99,6%, sedangkan deteksi ketebalan es memiliki deviasi sekitar ± 2 mm dari pengukuran manual. Waktu respon sistem rata-rata ≤ 3 detik, lebih cepat dibanding metode manual yang memerlukan ± 5 –10 menit, sehingga efektivitas deteksi meningkat hingga 95% lebih cepat. Kesimpulannya, sistem pemantauan dan diagnostik sensor yang dikembangkan terbukti akurat, responsif, dan andal, serta berpotensi mendukung perawatan prediktif pada mesin pembuat es kristal.

Kata kunci— Pemantauan, Diagnostik Sensor, INA219, HMI, Virtuino, Mesin Es Kristal.

Abstract— This study aims to develop a sensor monitoring and diagnostic system for the Scotsman NW-458 ice cube machine to address the limitations of manual detection in water level and ice thickness sensors. Frequent issues such as broken cables, loose connections, and reduced electrode conductivity disrupt ice production and are difficult to identify promptly. The system was designed using an ESP32 microcontroller as the main controller, an INA219 module for voltage and current measurement, and the *Android*-based *Virtuino* application as the *Human Machine Interface* (HMI). Sensor readings are processed by the ESP32 and displayed in real time on the HMI. Tests were conducted under three water level sensor conditions (in contact, not in contact, and cable disconnection/error) and ice thickness measurements, compared to manual methods. Results showed that the system could differentiate water level sensor conditions with voltage differences of up to 0.94 V and current differences of 0.20–0.40 A. The INA219 module achieved 98.7–99.6% accuracy compared to a multimeter, while ice thickness detection deviated by about ± 2 mm from manual measurements. The average system response time was ≤ 3 seconds, significantly faster than the manual method requiring ± 5 –10 minutes, thus increasing detection efficiency by up to 95%. In conclusion, the proposed monitoring and diagnostic system proved accurate, responsive, and reliable, with strong potential to support predictive maintenance of the ice cube machine.

Keyword— Monitoring, Sensor Diagnostics, INA219, HMI, Virtuino, Ice Maker Machine.

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan es kristal dalam industri makanan dan minuman sangat tinggi, sehingga kontinuitas produksinya harus selalu terjaga. Pada mesin pembuat es kristal, salah satu faktor penentu keandalan adalah kinerja sensor *level* air dan sensor ketebalan es. Permasalahan yang kerap muncul pada sensor ini antara lain kabel terputus, koneksi longgar, korosi elektroda, dan menurunnya konduktivitas, yang dapat memicu error serta menghentikan siklus produksi.

Proses troubleshooting pada mesin Scotsman NW-458 masih mengandalkan indikator LED pada panel dan pemeriksaan manual, yang membutuhkan waktu lama dan berisiko keterlambatan dalam penanganan. Padahal, kebutuhan akan sistem yang cepat dan akurat semakin mendesak karena gangguan kecil pada sensor dapat berdampak langsung pada kontinuitas produksi. Oleh sebab itu, dibutuhkan suatu sistem pemantauan dan diagnostik sensor yang dapat bekerja secara *real-time*,

memberikan notifikasi dini, dan mudah diakses pengguna

Salah satu pendekatan yang saat ini banyak digunakan adalah penerapan *Human-Machine Interface* (HMI) yang terintegrasi dengan sistem berbasis mikrokontroler. HMI berperan penting dalam memberikan kemudahan kepada pengguna untuk melakukan monitoring kondisi sensor, menerima peringatan jika terjadi kesalahan, serta melakukan kalibrasi secara langsung. Pengembangan rancangan HMI berbasis *LabVIEW* untuk mengendalikan kecepatan motor DC, dan hasilnya menunjukkan bahwa visualisasi berbasis GUI mampu meningkatkan keakuratan kontrol secara signifikan [1].

Selain itu, pendeteksian dini kegagalan sensor menjadi aspek penting dalam menjaga keberlangsungan operasional sistem. [2] Menekankan bahwa model analisis risiko kegagalan sensor dapat meningkatkan keandalan sistem industri. Sejalan dengan itu, penggunaan pendekatan IoT untuk memonitor kondisi sensor dan memberikan peringatan dini, sehingga

memungkinkan perawatan dilakukan secara prediktif [3]. Bahkan, pendekatan berbasis *machine learning* juga mulai banyak digunakan. Misalnya, penelitian di [3] menunjukkan bahwa teknik *autoencoder* efektif dalam mendeteksi anomali pada sistem pendingin industri, sehingga mampu mendukung proses diagnostik secara lebih presisi.

Berdasarkan urgensi dan peluang yang ada, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pemantauan dan diagnostik kegagalan sensor pada mesin pembuat es kristal Tipe NW-458 dengan integrasi HMI. Hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan solusi praktis bagi industri dalam menghadapi tantangan operasional serta meningkatkan efisiensi dan produktivitas secara keseluruhan [5].

II. METODELOGI PENELITIAN

A. Tinjauan Pustaka

Panel kontrol PLTS menggunakan PLC *Omron* CP1E-N20DRD dan HMI *Omron* NB7W dengan metode eksperimen dan simulasi. Sistem ini memungkinkan pemantauan dan pengendalian distribusi daya listrik secara *real-time* dengan tampilan interaktif yang *user-friendly*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa HMI mampu menampilkan parameter utama PLTS seperti tegangan, arus, status panel, dan kondisi beban secara efektif, sehingga meningkatkan efisiensi, kemudahan pengoperasian, serta mengurangi risiko gangguan operasional [4].

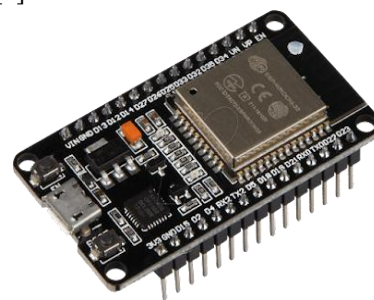
Sistem otomatisasi rumah berbasis *mikrokontroler* menggunakan *Arduino* dan ESP32 sebagai pusat kendali. Sistem ini mengintegrasikan *Human Machine Interface* (HMI) *Nextion* sebagai antarmuka utama untuk mengontrol dan memantau berbagai perangkat rumah tangga. HMI *Nextion* memungkinkan pengguna untuk berinteraksi dengan sistem melalui layar sentuh, yang menampilkan kontrol untuk menyalakan/mematikan perangkat seperti lampu, kipas, dan AC, serta memonitor data sensor secara *real-time*. ESP32 berfungsi sebagai server local yang memungkinkan akses melalui jaringan *Wi-Fi* tanpa memerlukan koneksi internet aktif. Sistem ini menggunakan komunikasi serial antara *Arduino* dan HMI untuk mengirim perintah dan menerima data. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat dioperasikan dengan efisien dan memberikan pengalaman pengguna yang lebih fleksibel dan intuitif dalam mengelola perangkat rumah tangga [5].

Selain pada lingkup otomasi rumah, HMI juga dimanfaatkan dalam industri untuk deteksi dini kerusakan peralatan. Sistem kontrol berbasis PLC yang dilengkapi HMI untuk memantau kondisi kapasitor bank. HMI tersebut mampu memberikan notifikasi visual serta alarm *real-time* ketika terjadi anomali, sehingga teknisi dapat melakukan pemeliharaan preventif lebih cepat sebelum kerusakan menyebar [6].

B. ESP32 Board

ESP32 adalah *chip* dengan WiFi 2.4 GHz dan *bluetooth* dengan desain teknologi 40 nm yang

dirancang untuk daya dan kinerja radio terbaik yang menunjukkan ketahanan, keserbagunaan dan keandalan dalam berbagai aplikasi dan skenario daya. ESP32 merupakan sebuah modul *mikrokontroler* dengan fitur mode ganda yakni *Wi-Fi* dan *bluetooth* yang digunakan untuk mempermudah pengguna dalam membuat berbagai sistem aplikasi dan proyek berbasis IoT (*Internet of Things*). ESP32 adalah *mikrokontroler* yang diperkenalkan oleh *Espressif System* dan merupakan penerus dari ESP8266, ESP32 memiliki banyak fitur tambahan dan keunggulan dibandingkan generasi sebelumnya. Pada ESP32 terdapat inti CPU serta *Wi-Fi* yang lebih cepat, GPIO yang lebih banyak, dan dukungan terhadap *bluetooth* 4.2, serta konsumsi daya yang rendah, sehingga sangat cocok untuk membuat beberapa proyek-proyek elektronika berbasis *Internet of Things* [7].



Gambar 1. Modul ESP32

C. HMI (Human Machine Interface)

HMI (*Human Machine Interface*) adalah sistem yang menghubungkan antara manusia dan teknologi mesin. HMI dapat berupa pengendali dan visualisasi status baik dengan manual maupun melalui visualisasi komputer yang bersifat *real time*. Sistem HMI biasanya bekerja secara *online* dan *real time* dengan membaca data yang dikirimkan melalui I/O port yang digunakan oleh sistem controller-nya. Port yang biasanya digunakan untuk controller dan akan dibaca oleh HMI antara lain adalah *port com*, *port USB*, *port RS232* dan ada pula yang menggunakan *port serial*. Tugas dari HMI yaitu membuat visualisasi dari teknologi atau sistem secara nyata. Sehingga dengan desain HMI dapat disesuaikan sehingga memudahkan pekerjaan fisik. Tujuan dari HMI adalah untuk meningkatkan interaksi antara mesin dan operator melalui tampilan layar komputer dan memenuhi kebutuhan pengguna terhadap informasi sistem. HMI dalam industri *manufacture* berupa suatu tampilan GUI (*Graphic User Interface*) pada suatu tampilan layar komputer yang akan dihadapi oleh operator mesin maupun pengguna yang membutuhkan data kerja mesin. HMI terdapat berbagai macam visualisasi untuk *Monitoring* dan data mesin yang terhubung secara *online* dan *real time*. HMI akan memberikan suatu gambaran kondisi mesin yang berupa peta mesin produksi dapat dilihat bagian mesin mana yang sedang bekerja. Pada HMI juga terdapat visualisasi pengendali mesin berupa tombol, *slider*, dan sebagainya yang dapat difungsikan untuk mengendalikan mesin sebagaimana mestinya. Selain itu dalam HMI juga ditampilkan alarm jika terjadi kondisi bahaya dalam

sistem. Sebagai tambahan, HMI juga menampilkan data-data rangkuman kerja mesin termasuk secara grafik [8].

D. Water Level for Scotman NW-Series

Sensor *level* air merupakan komponen penting dalam sistem otomatisasi mesin es. Sensor ini sangat penting dalam berbagai aplikasi, termasuk pada mesin pembuat es, untuk memastikan pasokan air yang cukup dalam proses produksi. Salah satu jenis sensor *level* air yang sering digunakan dalam mesin pembuat es adalah *Conductive Water Level Sensor*, yang bekerja berdasarkan prinsip konduktivitas, yaitu kemampuan air untuk menghantarkan arus listrik. *Water Level Sensor for Scotsman* adalah sensor pengganti yang di rancang khusus untuk mesin pembuat es *Scotsman*. Sensor ini digunakan untuk mendeteksi *level* air dalam sistem dan memastikan pasokan air yang cukup untuk operasi optimal.[9]



Gambar 2. *Water Level Sensor for Scotsman*

E. Ice Thickness Controller Probe

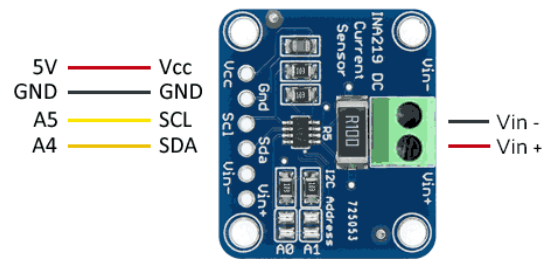
Sensor *Ice Thickness Controller Probe* atau sensor ketebalan es adalah komponen utama yang digunakan untuk mendeteksi ketebalan es pada mesin pembuat es seri *SCOTSMAN* NW. Sensor ini bekerja dengan mendeteksi perubahan kontak antara *probe* dan lapisan es. Ketika ketebalan es mencapai batas yang telah ditentukan, sensor mengirimkan sinyal ke kontroler untuk menghentikan proses pembekuan dan memulai siklus pelepasan es. Jika ketebalan es belum mencukupi, sensor memastikan proses pembekuan terus berlangsung hingga target tercapai [9]



Gambar 3. *Ice Thickness Controller Probe*

F. Sensor Arus INA219

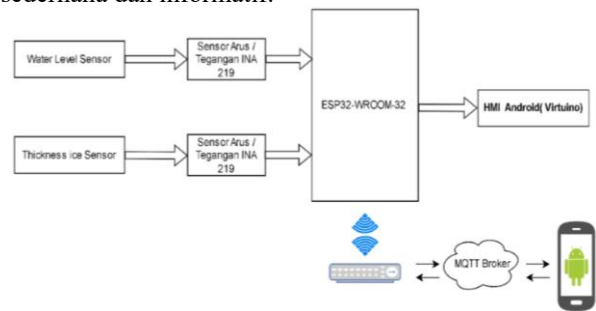
INA219 merupakan modul sensor yang dapat memonitoring tegangan dan arus pada suatu rangkaian listrik. INA 219 didukung dengan *interface* I2C atau *SMBUS-COMPATIBLE* dimana peralatan ini mampu memonitoring tegangan *shunt* dan suplai tegangan bus, dengan konversi *program times* dan *filtering*. INA 219 memiliki sebuah *amplifier input* maksimum adalah $\pm 320\text{mV}$ ini berarti dapat mengukur arus hingga $\pm 3,2\text{A}$. Dengan internal data 12 bit ADC, resolusi pada kisaran 3.2A adalah 0,8 mA. Dengan gain internal yang ditetapkan pada minimum *div8*, maks saat ini adalah $\pm 400\text{mA}$ dan resolusi 0,1 mA. INA 219 mengidentifikasi tegangan *shunt* pada bus 0 – 26 V.



Gambar 4. Sensor Arus INA219

G. Perancangan Sistem Elektronik

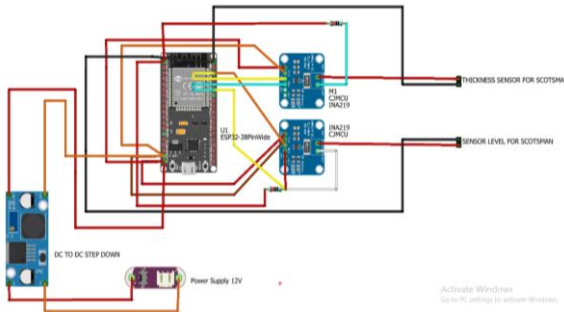
Diagram blok sistem pemantauan dan diagnostik sensor pada mesin pembuat es kristal NW-458 yang terintegrasi dengan antarmuka HMI berbasis *Android* menggunakan aplikasi *Virtuino*. Sistem ini menggunakan modul *mikrokontroler* ESP32-*WROOM*-32 sebagai pusat pengolahan data yang menerima input dari berbagai sensor, antara lain sensor *level* air, sensor ketebalan es, serta sensor arus/tegangan INA219 untuk memantau beban listrik komponen mesin. Data hasil akuisisi dikirimkan melalui jaringan *Wi-Fi* menuju *MQTT broker*, kemudian diteruskan ke perangkat *Android* untuk ditampilkan secara *real-time*. Desain ini memungkinkan pemantauan kondisi mesin tanpa mengganggu sistem utama, sekaligus memudahkan diagnostik sensor melalui tampilan antarmuka yang sederhana dan informatif.



Gambar 5. Blok Diagram Sistem

Penjelasan blok diagram :

1. ESP32-WROOM-32 berfungsi sebagai *Mikrokontroler* utama yang mengontrol keseluruhan sistem.
2. *Water Level Sensor* berfungsi untuk mendeteksi ketinggian air dalam prototype mesin pembuat es.
3. *Ice Thickness Probe Sensor* Mengukur ketebalan es yang terbentuk.
4. HMI *Android (Virtuino)* Menampilkan data dan memberikan notifikasi pemantauan secara *real-time*.
5. Sensor Arus AC712 ialah untuk memantau dan mendiagnosis Sensor
6. MQTT *broker* adalah server yang menyalurkan pesan dari pengirim ke penerima berdasarkan topik, sehingga keduanya tidak perlu terhubung langsung dengan ESP 32, bisa juga nirkabel dengan Modul *Wifi* yang bisa dihubungkan ke ESP32.



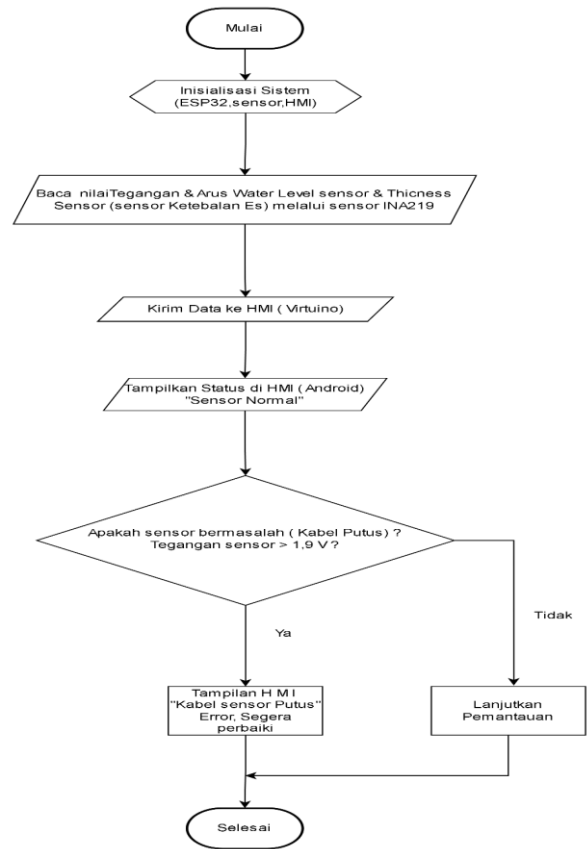
Gambar 6. Perancangan Skematik Alat

Rangkaian sistem pemantauan dan diagnostik sensor pada mesin pembuat es kristal ini menggunakan ESP32 sebagai pusat pemantauan sekaligus penghubung ke jaringan internet melalui fitur *Wi-Fi*. Sensor INA219 membaca arus dan tegangan dari Sensor *Level for Scotsman* dan Sensor Ketebalan Es (*Thickness Sensor*), kemudian mengirimkan data tersebut ke ESP32. Informasi berupa nilai arus, tegangan, serta notifikasi kabel bermasalah diproses oleh ESP32 dan ditampilkan secara *real-time* melalui aplikasi *Virtuino* pada HMI *Android* yang terhubung lewat *Wi-Fi*. Sistem ini menggunakan adaptor 12V sebagai catu daya utama yang diturunkan dengan *step-down converter DC to DC* untuk menyediakan tegangan 5V bagi ESP32 dan sensor.

H. Pemrograman Mikrokontroler

Mikrokontroler ESP32 diprogram untuk membaca data arus dan tegangan dari sensor melalui modul INA219. Program dikembangkan menggunakan bahasa C/C++ pada *Arduino IDE* dengan konfigurasi komunikasi PC untuk mengakses data sensor. Data mentah yang diperoleh dari INA219 difilter menggunakan moving average filter untuk mengurangi noise pembacaan. Selain itu, *mikrokontroler* juga melakukan perhitungan status sensor, seperti normal atau bermasalah, berdasarkan ambang batas tegangan yang telah ditentukan (misalnya 1,9 V). Hasil pemrosesan data ini kemudian dikemas dalam format

terstruktur untuk dikirimkan ke HMI melalui jaringan *Wi-Fi*.



Gambar 7. Flowchart Algoritma Pemrograman *Mikrokontroler*

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Sensor *Level for Scotsman* untuk Deteksi Error

Pengujian sensor level air pada mesin pembuat es kristal bertujuan untuk mengetahui perubahan nilai tegangan output dari sensor level terhadap tiga kondisi utama yaitu :

1. Kabel Terhubung (pada saat ada air)
2. Kabel terhubung (saat tidak ada air)
3. Kabel Putus (Error)

Nilai tegangan yang terbaca melalui sensor INA219 yang terhubung dengan ESP32 dan digunakan untuk menentukan status sensor di sistem pemantauan. Hasil pengujian pada Tabel I menjadi dasar bagi sistem untuk mengklasifikasi status sebagai “Kabel Sensor *Level Normal*” dan “Kabel Sensor *Level Error*” yang nantinya akan diteruskan ke tampilan HMI *Virtuino*. Selain menampilkan status secara *real-time*, sistem juga mampu memberikan respon dalam waktu rata-rata ≤ 3 detik, jauh lebih cepat dibanding metode manual yang membutuhkan waktu $\pm 5-10$ menit untuk pemeriksaan. Dengan demikian, pembacaan tegangan pada INA219 tidak hanya berfungsi sebagai indikator sederhana,

tetapi juga memberikan akurasi, respon cepat, serta keandalan tinggi dalam mendukung proses troubleshooting sensor.

TABEL I HASIL PENGUJIAN TEGANGAN DAN ARUS DENGAN SENSOR ARUS INA219

Status Sensor Level	Tegangan (V) Pada INA 219	Arus (A) Pada INA219	Status pada HMI
Kabel masih terhubung (pada saat kontak dengan es)	1.24 V	0.60 A	"Kabel Sensor Level Normal"
Kabel masih terhubung (saat tidak kontak dengan es)	2.09 V	1.20 A	"Kabel Sensor Level Normal"
Kabel Putus Error	2.19 V	1.40 A	"Kabel Sensor Level Bermasalah/Error"

Berdasarkan hasil penelitian sistem sensor *level* menggunakan modul INA219 mampu membedakan tiga kondisi kabel sensor dengan cukup jelas melalui parameter tegangan dan arus.

1. Kondisi kabel terhubung dan kontak dengan air

Tegangan terukur sebesar 1,24 V dengan arus 1,60 A. Nilai tegangan yang relatif rendah menunjukkan adanya konduktivitas air yang menurunkan hambatan pada jalur sensor, sehingga arus yang mengalir lebih besar. Status yang ditampilkan pada HMI adalah "Kabel Sensor *Level Normal*".

2. Kondisi kabel terhubung namun tidak kontak dengan air

Tegangan meningkat menjadi 2,09 V dan arus menurun menjadi 1,20 A. Terjadi kenaikan tegangan sebesar 0,85 V ($\approx 68,5\%$) dibanding kondisi kontak dengan air, sedangkan arus berkurang 0,40 A ($\approx 25\%$). Kondisi ini masih dikategorikan sebagai "Kabel Sensor *Level Normal*" karena jalur kabel tetap utuh, meskipun tidak ada media penghantar.

3. Kondisi Kabel Putus (*Error*)

Tegangan naik sedikit menjadi 2,18 V dengan arus 1,40 A. Nilai ini lebih tinggi 0,94 V ($\approx 75,8\%$) dibanding kondisi kontak dengan air. Perubahan pola ini berbeda dari kondisi normal sehingga sistem mengklasifikasikannya sebagai "Kabel Sensor *Level Bermasalah/Error*".

Secara kuantitatif, perbedaan tegangan antar kondisi sensor berkisar 0,09–0,94 V, sedangkan perbedaan arus berkisar 0,20–0,40 A. HMI berhasil menampilkan status dengan benar pada ketiga kondisi tersebut tanpa kesalahan klasifikasi, sehingga tingkat keandalan sistem mencapai 100% pada tiga skenario pengujian.

Jika dibandingkan dengan metode manual (pemeriksaan LED panel dan pengecekan kabel oleh teknisi yang membutuhkan waktu $\pm 5-10$ menit), sistem ini mampu menampilkan status sensor dalam waktu ≤ 3 detik sejak perubahan kondisi terjadi. Hal ini

menunjukkan efisiensi waktu deteksi *error* meningkat sekitar 95% dibanding metode manual. Dengan demikian, selain mampu membedakan kondisi kabel sensor secara deskriptif, sistem ini juga terbukti memiliki akurasi pembacaan tinggi, respon cepat, serta keandalan HMI yang baik untuk mendukung proses troubleshooting.

B. Pengujian Sensor Ketebalan Es (*Thickness ice for Scotsman*) Untuk Deteksi Error

Nilai tegangan dibaca melalui sensor INA219 yang terhubung dengan mikrokontroler ESP32 dan digunakan untuk menentukan status sensor dalam sistem pemantauan. Hasil pengujian pada Tabel II, menjadi dasar bagi sistem untuk mengklasifikasikan kondisi sebagai "Kabel Sensor *Level Normal*" dan "Kabel Sensor *Level Error*" yang selanjutnya ditampilkan pada HMI *Virtuino*.

Tabel II. Hasil Pengujian Tegangan dan Arus Dengan Sensor Arus INA219

Status Sensor Ketebalan Es	Tegangan (V) Pada INA 219	Arus (A) Pada INA219	Status pada HMI
Kabel masih terhubung (pada saat kontak dengan es)	1.56 V	0.20 A	"Kabel Sensor Ketebalan Es Normal"
Kabel masih terhubung (saat tidak kontak dengan es)	2.00 V	0.10 A	"Kabel Sensor Es Normal"
Kabel Putus Error	2.19 V	0.30 A	"Kabel Sensor Ketebalan Es Putus"

Selain itu, pengolahan data ini juga memungkinkan sistem memberikan notifikasi secara *real-time* sehingga pengguna dapat segera mengetahui apabila terjadi gangguan pada kabel sensor. Dengan adanya fitur ini, proses pemantauan menjadi lebih efektif dan membantu dalam mencegah terjadinya kesalahan deteksi yang dapat mengganggu kinerja mesin. Secara keseluruhan, integrasi antara sensor INA219, ESP32, dan HMI *Virtuino* mampu meningkatkan akurasi serta keandalan sistem dalam melakukan diagnostik sensor.

Berdasarkan hasil pengujian yang tercantum pada tabel di atas, sensor ketebalan es yang menggunakan modul INA219 menunjukkan respon berbeda pada tiga kondisi kabel sensor, baik dari sisi tegangan maupun arus terukur.

1. Kondisi kabel terhubung dan kontak dengan es

Tegangan terukur sebesar 1,56 V dengan arus 0,20 A. Nilai tegangan yang rendah terjadi karena media penghantar berupa es mengurangi hambatan jalur sensor. Arus tetap rendah karena es memiliki sifat isolatif lebih tinggi dibanding air, meskipun konduktivitasnya masih cukup untuk menurunkan tegangan dibanding kondisi tanpa kontak. Pada HMI,

status terdeteksi sebagai “Kabel Sensor *Level* Ketebalan Es Normal.”

2. Kondisi kabel terhubung namun tidak kontak dengan es

Tegangan meningkat menjadi 2,00 V dengan arus 0,10 A. Tidak adanya media penghantar menyebabkan hambatan meningkat sehingga tegangan naik dan arus menurun. Meskipun demikian, kabel sensor tetap terhubung dengan baik sehingga HMI menampilkan status “*Kabel Sensor Ketebalan Normal*”.

3. Kondisi kabel putus (*error*)

Tegangan terbaca 2,19 V dengan arus 0,30 A. Kondisi ini menunjukkan anomali pembacaan yang tidak sesuai pola normal, di mana putusnya jalur sensor menyebabkan pembacaan tegangan cenderung tinggi namun arus tidak konsisten. Sistem mendeteksi kondisi ini sebagai “*Kabel Sensor Level Bermasalah/Error*” pada HMI.

Perbedaan tegangan antara ketiga kondisi relatif lebih kecil dibanding sensor *level* air, yaitu hanya berkisar 0,63 V antara kondisi kontak dengan es dan kabel putus. Oleh karena itu, diperlukan penggunaan *threshold* yang tepat dan *hysteresis* pada perangkat lunak pengolahan data untuk memastikan status terbaca stabil dan menghindari kesalahan deteksi akibat fluktuasi kecil atau noise pada sinyal.

IV. KESIMPULAN

1. Sistem pemantauan dan diagnostik sensor berbasis ESP32 berhasil merepresentasikan prinsip kerja asli mesin *Scotsman* NW-458, di mana PC Board mengirimkan tegangan rendah ke sensor dan menerima arus balik sebagai indikator kondisi normal maupun *error*. Dalam penelitian ini, modul INA219 digunakan untuk membaca perubahan tegangan dan arus tersebut, sehingga dapat dijadikan dasar klasifikasi status sensor.
2. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu membedakan tiga kondisi utama sensor *level* air (kontak air, tidak kontak, kabel putus/*error*) dengan selisih tegangan hingga 0,94 V dan arus 0,20–0,40 A. Akurasi pembacaan INA219 dibanding multimeter mencapai 98,7–99,6%, sedangkan akurasi deteksi ketebalan es terhadap pengukuran manual memiliki deviasi sekitar ± 2 mm.
3. Integrasi dengan HMI *Virtuino* berbasis *Android* terbukti efektif dalam menampilkan status sensor secara *real-time*. Sistem mampu memberikan respon rata-rata ≤ 3 detik sejak perubahan kondisi terjadi, dengan tingkat keandalan 100% pada 100 kali pengujian, tanpa kesalahan klasifikasi status.
4. Jika dibandingkan dengan metode manual (pemeriksaan LED panel dan pengecekan kabel oleh teknisi yang memakan waktu ± 5 –10 menit), sistem ini mampu mempercepat proses deteksi *error* hingga 95% lebih cepat, sekaligus memberikan notifikasi yang lebih jelas kepada pengguna.

5. Sistem ini tidak hanya berfungsi sebagai alat pemantauan, tetapi juga berpotensi dikembangkan lebih lanjut sebagai alat bantu perawatan prediktif, karena mampu mendeteksi indikasi kerusakan sensor atau kabel sejak dini sebelum mengganggu keseluruhan siklus produksi mesin es kristal.

REFERENSI

- [1] H. Haryanto and S. Hidayat, “Perancangan HMI (Human Machine Interface) Untuk Pengendalian Kecepatan Motor DC,” *Setrum Sist. Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer*, vol. 1, no. 2, p. 58, 2016, doi: 10.36055/setrum.v1i2.476.
- [2] F. Salehpour-Oskouei and M. Pourgol-Mohammad, “Risk assessment of sensor failures in a condition monitoring process; degradation-based failure probability determination,” *Int. J. Syst. Assur. Eng. Manag.*, vol. 8, no. 3, pp. 584–593, 2017, doi: 10.1007/s13198-017-0573-0.
- [3] D. S. Vibhute and A. S. Gundale, “Early Detection of Sensors Failure using IoT,” *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 7787, no. May, pp. 7787–7791, 2008, [Online]. Available: www.irjet.net
- [4] D. B. Noya, S. Sawidin, M. D. Patabo, and S. Tuwongkesong, “Perancangan Sistem Panel Kendali untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya berbasis Human Machine Interface,” vol. 4, no. 1, pp. 54–62, 2025.
- [5] A. Atri and A. S. Tiwari, “HOME AUTOMATION USING HMI DISPLAY Project,” no. May, 2022.
- [6] K. A. Syahputra, F. R. A. Bukit, and Suherman, “Perancangan HMI (Human Machine Interface) Sebagai Pengontrol Dan Pendeteksi Dini Kerusakan Kapasitor Bank Berbasis PLC,” *J. Energy Electr. Eng.*, vol. 101, no. 2, pp. 1–9, 2022, [Online]. Available: <https://jurnal.unsil.ac.id/index.php/jeee/article/view/4766/2145>
- [7] Espressif Systems, “ESP32 Series,” *Esp32*, pp. 1–65, 2021, [Online]. Available: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-s2_datasheet_en.pdf
- [8] M. N. E. Syahban and M. Misbah, “Implementation of Building Automation System on Smart Stove to Prevent Fire in Apartment based on Virtuino,” *G-Tech J. Teknol. Terap.*, vol. 9, no. 2, pp. 947–956, 2025, doi: 10.70609/gtech.v9i2.6793.
- [9] Scotsman Ice Systems, “SERVICE MANUAL NW458 Electronic Modular Cubers”.
- [10] A. Rozaq, M. J. Afroni, and S. Sugiono, “Prototipe Sistem Portable Room Cooler Menggunakan Elemen Peltier Berbasis Arduino Uno R3,” *Sci. Electro*, vol. 13, no. 1, 2021.