



Sistem Monitoring Listrik dan Kesehatan Perangkat Videotron Jalan Tol Berbasis *IoT* **(Studi Kasus: Jalan Tol Semarang-Solo PT Trans Marga Jateng)**

Alvan Naufa Luthfi Firmansyah¹, Setiyo Adi Nugroho², Rudjiono³

¹ Department of Informatics, Universitas Sains dan Teknologi Komputer Semarang, Indonesia

^{2,3} Department of Informatics, Universitas Sains dan Teknologi Komputer Semarang, Indonesia

Email author: alvannaufaluthfifirmansyah82@gmail.com

Article Info

Article history:

Received May 24, 2026

Revised May 30, 2026

Accepted June 1, 2026

Available: July 8, 2026

Published: July 30, 2026

Keywords:

IoT;

Monitoring listrik;

Videotron;

NodeMCU ESP8266;

PZEM-004T;

DHT22;

Blynk.

ABSTRACT

Videotrons on toll roads serve as visual information media to convey traffic conditions, safety warnings, and early warnings to road users. However, the reliability of videotrons is greatly influenced by the stability of the electricity supply and the health of the devices. Electrical disturbances such as unstable voltage, power outages, overheating, and high humidity can cause device damage and disrupt videotron operations. This study aims to design and build an Internet of Things (IoT)-based electrical and videotron device health monitoring system on the Semarang-Solo Toll Road of PT Trans Marga Jateng. The system uses a NodeMCU ESP8266 as the main microcontroller integrated with a PZEM-004T sensor for monitoring electrical parameters and a DHT22 sensor for monitoring temperature and humidity. Data is sent in real-time via the internet to the Blynk & Telegram application as a monitoring and early notification medium. This study uses a Research and Development (R&D) method with a prototype model. The results show that the system is capable of monitoring voltage, current, power, electrical energy, temperature, and humidity in real-time and providing early notification when anomalies occur in certain parameters. This system is expected to improve the operational reliability of videotrons, speed up the handling of disturbances, and reduce device maintenance costs.

Corresponding Author:

Alvan Naufa Luthfi Firmansyah,
Universitas Sains dan Teknologi Komputer
Jl. Majapahit No. 605 Semarang
Email: join@stekom.ac.id



1. INTRODUCTION

Perkembangan teknologi informasi mendorong penggunaan media digital pada infrastruktur transportasi, termasuk videotron pada jalan tol. Videotron digunakan sebagai sarana penyampaian informasi lalu lintas, himbauan keselamatan, dan peringatan dini kepada pengguna jalan. Keberadaan videotron sangat penting dalam mendukung keselamatan dan kelancaran lalu lintas, khususnya pada ruas Jalan Tol Semarang–Solo yang merupakan jalur strategis di wilayah Jawa Tengah. (Hartono, 2020).

Dalam operasionalnya, videotron memerlukan pasokan listrik yang stabil dan kondisi perangkat yang baik agar dapat berfungsi secara optimal. Gangguan kelistrikan seperti tegangan tidak stabil, pemadaman listrik, dan lonjakan arus dapat menyebabkan kerusakan perangkat. Selain itu, faktor lingkungan seperti suhu tinggi dan kelembaban berlebih dapat mempercepat kerusakan komponen elektronik. Permasalahan tersebut menyebabkan sistem videotron mengalami downtime sehingga mengganggu penyampaian informasi kepada pengguna jalan. (Rahmat & Yuliani, 2019).

Sistem monitoring yang digunakan saat ini sebagian besar masih dilakukan secara manual sehingga gangguan baru diketahui setelah perangkat mengalami kerusakan atau setelah adanya laporan dari petugas lapangan. Kondisi tersebut menyebabkan keterlambatan penanganan dan meningkatnya biaya perawatan.

Teknologi Internet of Things (IoT) dapat menjadi solusi dalam membangun sistem monitoring secara real-time. Dengan memanfaatkan mikrokontroler NodeMCU ESP8266, sensor PZEM-004T, sensor DHT22, dan aplikasi Blynk, sistem dapat melakukan monitoring parameter listrik dan kondisi lingkungan secara otomatis melalui jaringan internet. (Mekki et al., 2019).

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem monitoring listrik dan kesehatan perangkat videotron berbasis IoT pada Jalan Tol Semarang–Solo PT Trans Marga Jateng. Sistem diharapkan mampu memberikan monitoring real-time serta notifikasi dini untuk mempercepat penanganan gangguan.

2. METHOD

2.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian Research and Development (R&D) dengan model prototype. Metode ini sesuai untuk pengembangan sistem berbasis perangkat keras dan perangkat lunak yang membutuhkan proses pengujian dan evaluasi secara berulang. (Pressman, 2014).

2.2 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada unit Videotron Akses Ungaran 1, yang terletak di area Gerbang Tol Ungaran, Kalirejo, Kecamatan Ungaran Timur, Kabupaten Semarang, Jawa Tengah. Videotron ini merupakan salah satu media informasi visual milik PT Trans Marga Jateng (TMJ), dan pengelolaannya dilakukan oleh PT Network Global Solusindo selaku mitra penyedia layanan teknis melalui kontrak kerja sama. PT Trans Marga Jateng (TMJ) adalah anak perusahaan dari PT Jasa Marga (Persero) Tbk, yang bergerak di bidang pengusahaan jalan tol dan beralamat di Jl. Murbei No. 1, Kelurahan Sumurboto, Kecamatan Semarang Selatan, Kota Semarang, Jawa Tengah.

2.3 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian pada sistem monitoring listrik dan kesehatan perangkat videotron berbasis IoT dilakukan melalui beberapa tahap berikut:

a. Identifikasi Masalah

Tahap awal penelitian dilakukan dengan mengidentifikasi kendala dan permasalahan yang terjadi pada videotron Jalan Tol Semarang-Solo. Permasalahan utama yang ditemukan yaitu belum adanya sistem monitoring dan peringatan dini terhadap gangguan kelistrikan, suhu tinggi, serta kelembaban yang dapat menyebabkan kerusakan perangkat videotron.

b. Pengumpulan Data Observasi dan Wawancara

Pada tahap ini dilakukan kunjungan langsung di lokasi videotron untuk mengetahui kondisi sistem kelistrikan dan lingkungan perangkat. Selain itu dilakukan wawancara dengan teknisi dan pihak pengelola guna memperoleh informasi mengenai gangguan yang sering terjadi serta kebutuhan sistem monitoring yang dibutuhkan.

c. Perancangan Sistem

Tahap perancangan dilakukan dengan menentukan perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan. Sistem dirancang menggunakan NodeMCU ESP8266 sebagai microcontroller utama, sensor PZEM-004T untuk monitoring listrik, sensor DHT22 untuk monitoring suhu dan kelembaban, LCD I2C sebagai tampilan lokal, dan aplikasi Blynk serta Telegram sebagai media monitoring berbasis IoT.

d. Model Pengembangan Research and Development (R&D)

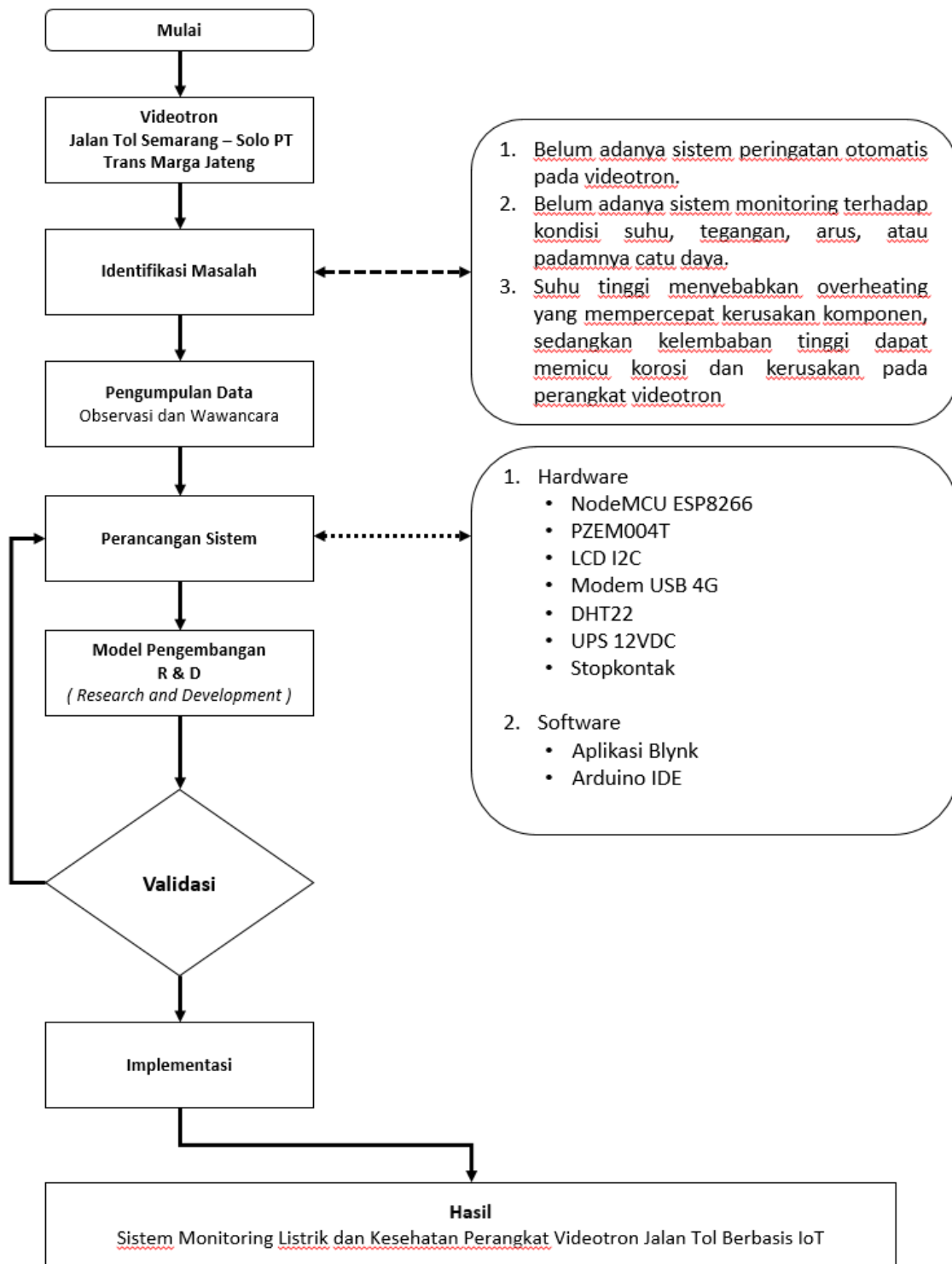
Penelitian menggunakan metode Research and Development (R&D) dengan model prototype. Metode ini digunakan untuk merancang, mengembangkan, serta melakukan pengujian sistem secara bertahap hingga diperoleh sistem monitoring yang sesuai dengan kebutuhan.

e. Implementasi Sistem

Tahap implementasi dilakukan dengan merakit seluruh komponen perangkat keras dan melakukan pemrograman pada NodeMCU ESP8266 menggunakan Arduino IDE. Sistem kemudian dihubungkan dengan aplikasi Blynk agar data monitoring dapat ditampilkan secara real-time.

f. Hasil dan Pengujian Sistem

Tahap akhir dilakukan pengujian sistem, dibuat untuk mengetahui kinerja pembacaan sensor, pengiriman data, tampilan monitoring, dan notifikasi sistem. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat bekerja dengan baik dalam melakukan monitoring listrik dan kesehatan perangkat videotron secara real-time.



Gambar 1.0 Skema Tahapan Penelitian

2.4 Perancangan Sistem

Perancangan sistem monitoring listrik dan kesehatan perangkat videotron berbasis IoT terdiri dari beberapa komponen perangkat keras dan lunak yang saling terintegrasi.

a. NodeMCU ESP8266

NodeMCU ESP8266 digunakan sebagai mikrokontroler utama pada sistem. Perangkat ini berfungsi untuk memproses data dari sensor, mengolah data monitoring, serta mengirimkan data sensor dan notifikasi ke aplikasi Blynk melalui jaringan internet menggunakan koneksi WiFi. (Espressif Systems, 2022).

b. Sensor PZEM-004T

Sensor PZEM-004T digunakan untuk melakukan monitoring parameter kelistrikan AC secara real-time. Sensor ini mampu membaca tegangan (Volt), arus (Ampere), daya aktif (Watt), energi listrik (kWh), dan frekuensi (Hz). Data hasil pembacaan sensor kemudian dikirimkan ke NodeMCU ESP8266 untuk diproses. (Muslihi, 2025).

c. Sensor DHT22

Sensor DHT22 digunakan untuk memantau suhu dan kelembaban pada panel videotron. Monitoring suhu dan kelembaban diperlukan untuk mendeteksi kondisi overheating dan kelembaban tinggi yang dapat menyebabkan kerusakan komponen perangkat. (Muslihi, 2025).

d. LCD I2C 16x2

LCD I2C 16x2 digunakan sebagai tampilan lokal untuk menampilkan informasi monitoring seperti tegangan, arus, suhu, dan kelembaban secara langsung pada perangkat. (Gravitech, 2016).

e. UPS 12V DC

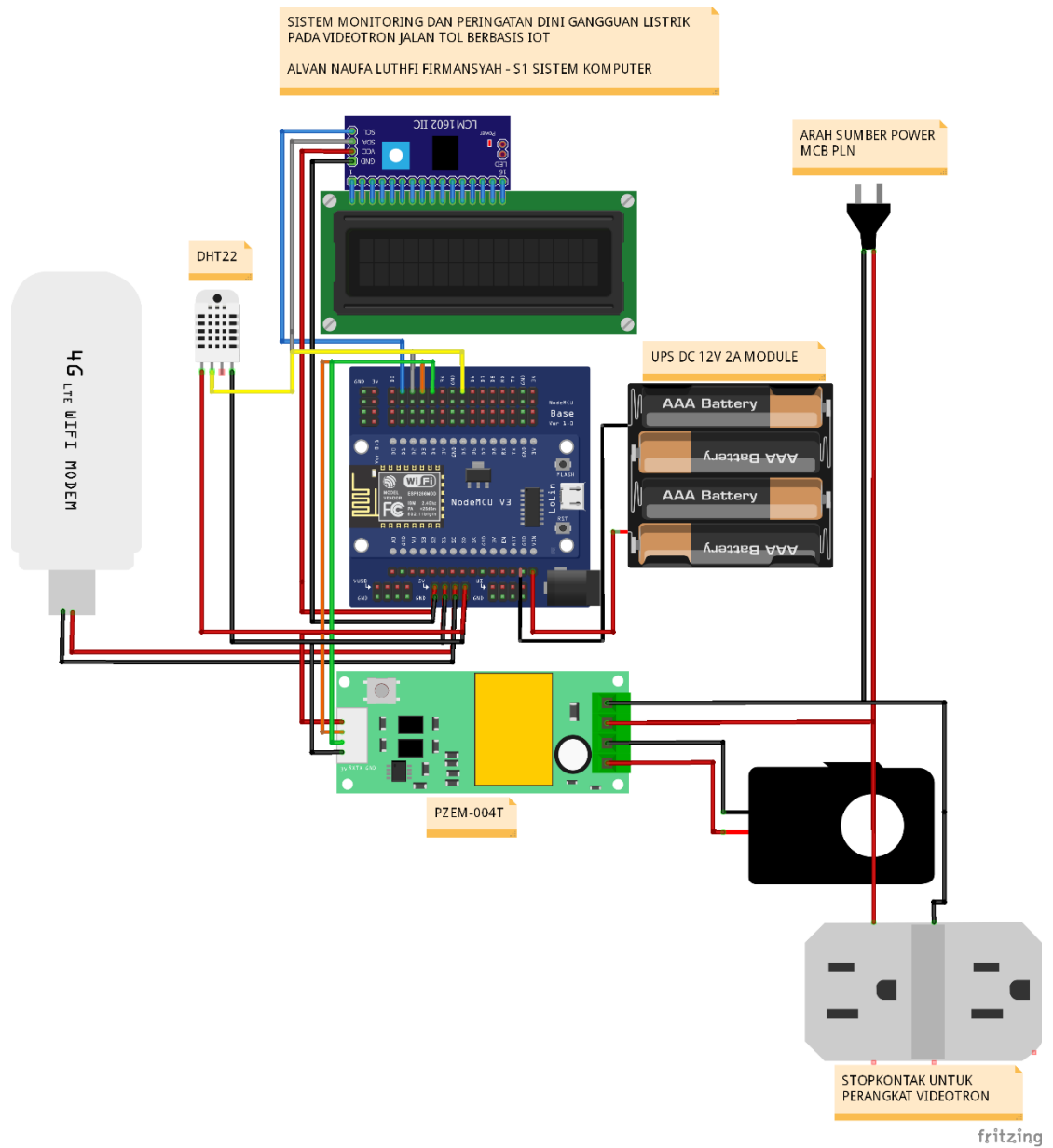
UPS 12V DC digunakan sebagai sumber daya cadangan agar sistem monitoring tetap dapat bekerja ketika terjadi gangguan listrik utama. (TechTarget, 2025).

f. Modem USB 4G

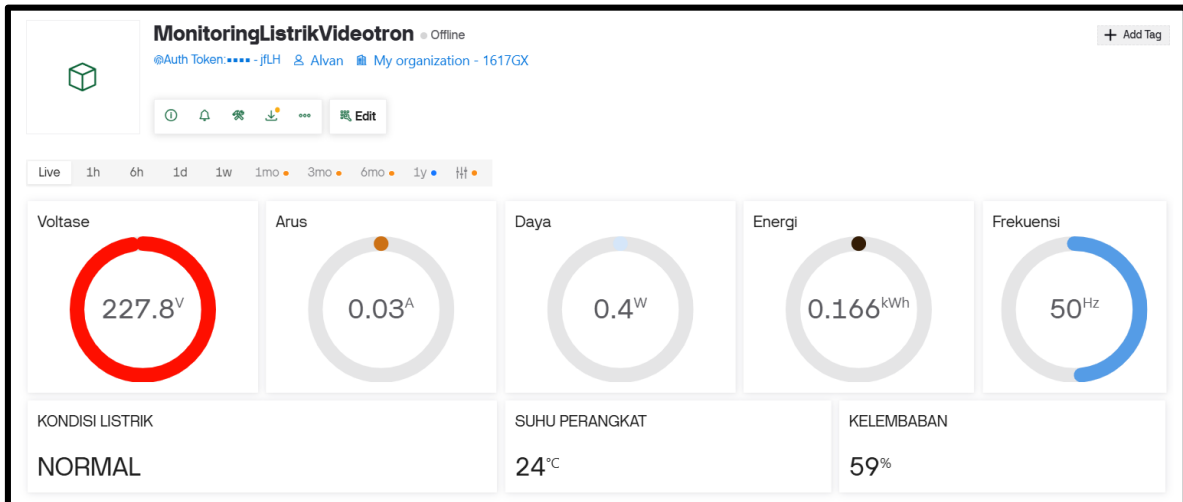
Modem USB 4G digunakan sebagai media koneksi internet untuk menghubungkan NodeMCU ESP8266 dengan aplikasi Blynk sehingga data monitoring dapat dikirim secara real-time. (TechTarget, 2024).

g. Aplikasi Blynk & Telegram

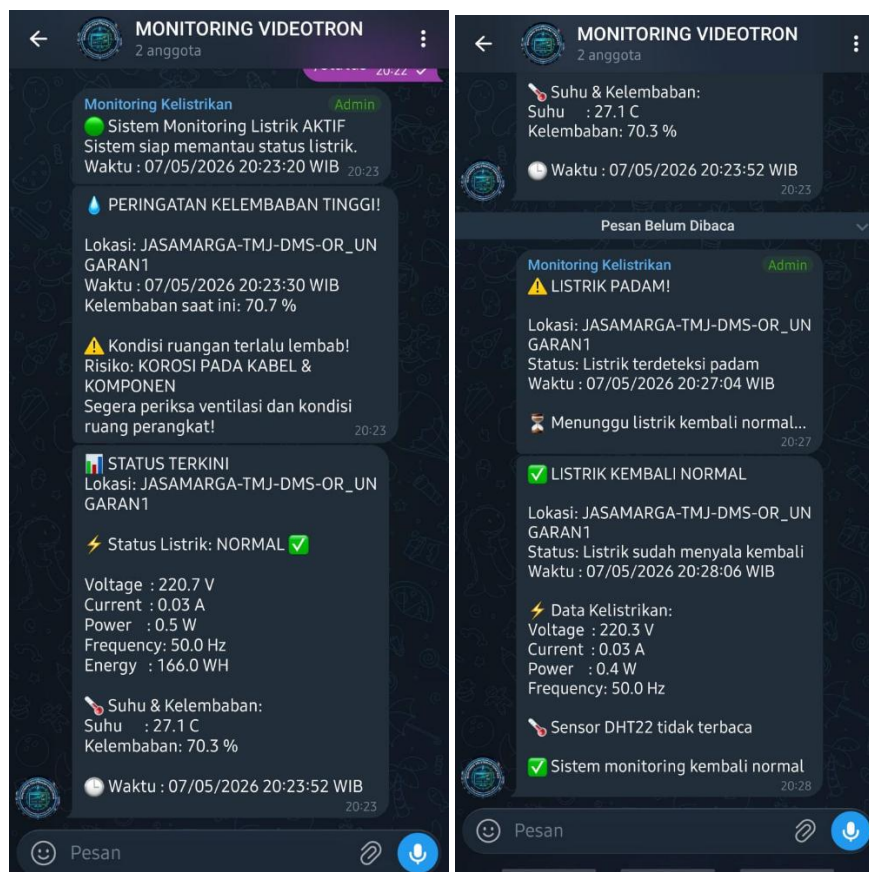
Aplikasi Blynk & Telegram digunakan sebagai platform monitoring berbasis IoT yang berfungsi menampilkan data monitoring secara real-time melalui smartphone maupun dashboard web. Selain itu, aplikasi ini juga digunakan untuk memberikan notifikasi dini ketika terjadi gangguan pada parameter tertentu. (Abdillah & Kopravi, 2024).



Gambar 1.1 Skema Perancangan Alat



Gambar 1.3 Skema Antarmuka Pengguna



Gambar 1.4 Notifikasi pada Telegram

```

ujicoba_padam_Update_dht22_Telegram_Status_Buzze_v2.ino
--
// HTTP client - WIB - UTC+7 (25200 detik)
34 WiFiUDP ntpUDP;
35 HTTPClient timeClient(ntpUDP, "pool.ntp.org", 25200, 60000);
36
37 #include <PZEM004TV30.h>
38 #include <SoftwareSerial.h>
39 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
40 #include <DHT.h>
41 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
42
43 #define PZEM_RX_PIN D5
44 #define PZEM_TX_PIN D6
45
46 // DHT22 - D4 (GPIO2), ada internal pull-up, cocok untuk DHT22.
47 #define DHT_PIN D4
48 #define DHT_TYPE DHT22
49 DHT dht(DHT_PIN, DHT_TYPE);
50
51 // Buzzer - D8 (GPIO15)
52 #define BUZZER_PIN D8
53
54 SoftwareSerial pzemSsSerial(PZEM_RX_PIN, PZEM_TX_PIN);
55 PZEM004TV30 pzem(pzemSsSerial);
56
57 float voltage;
58 float current;
59 float power;
60 float energy;
61 float frequency;
62 float energyWh;
63 float pf;
64 float temperature;

```

```

175 pinMode(BUZZER_PIN, OUTPUT);
176 digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);
177 dht.begin();
178 lcd.begin(16,2);
179 lcd.init();
180 lcd.backlight();
181 lcd.print("Sistem Monitoring");
182 lcd.setCursor(2, 1);
183 lcd.print(" Listrik IOT ");
184 delay(3000);
185 lcd.clear();
186 lcd.print("By Alvan Naufa");
187 lcd.setCursor(0, 1);
188 lcd.print("---JASAMARGA---");
189
190 // Setup untuk Telegram Bot
191 secureClient.setInsecure(); // Untuk ESP8266
192
193 Blynk.begin(auth, ssid, pass);
194 delay(2000);
195 timeClient.begin();
196 timeClient.update();
197
198 // Kirim notifikasi awal ke Telegram
199 if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
200   sendTelegramNotification("● Sistem Monitoring Listrik AKTIF\nSistem siap memantau status listrik.\nWaktu : " + getDateTime());
201 }
202 lcd.clear();
203 lcd.print("V=  V,I=  A");
204 lcd.setCursor(0,1);
205 lcd.print("P=  W,E=  Wh");
206 }

```

```

212 // Cek pesan masuk Telegram secara berkala
213 if (WiFi.status() == WL_CONNECTED && millis() - lastBotCheck > BOT_CHECK_INTERVAL) {
214   lastBotCheck = millis();
215   handleTelegramMessages();
216 }
217
218 voltage = pzem.voltage();
219 current = pzem.current();
220 power = pzem.power();
221 energy = pzem.energy();
222 frequency = pzem.frequency();
223
224 // Deteksi listrik padam
225 if (isnan(voltage) || isnan(current)) {
226   if (!listrikPadam) {
227     // Pertama kali padam
228     listrikPadam = true;
229
230     // Bunyi buzzer 3x (~2 detik) tanda listrik padam
231     buzzerBeep(3, 350, 300);
232
233     // Kirim notifikasi ke Blynk
234     Blynk.logEvent("listrik_padam", "⚠ Listrik padam terdeteksi!");
235
236     // Kirim notifikasi ke Telegram
237     String telegramMsg = "⚠ LISTRIK PADAM!\n\n";
238     telegramMsg += "Lokasi: JASAMARGA-TH3-DMS-OR_UNGARAN1\n\n";
239     telegramMsg += "Status: Listrik terdeteksi padam\n\n";
240     telegramMsg += "Waktu : " + getDateTime() + "\n\n";
241     telegramMsg += "\n🕒 Menunggu listrik kembali normal...";
242     sendTelegramNotification(telegramMsg);
243

```

Gambar 1.5 Listing Trigger Sensor



Gambar 1.6 Skema prototipe perangkat

3. RESULT DAN ANALISIS

Pengujian sistem berdasarkan kondisi dan parameter yang berbeda - beda sehingga diharapkan nantinya penulis menyimpulkan kondisi sistem terhadap keberfungsian perangkat Monitoring Listrik dan Kesehatan Videotron Jalan Tol berbasis IoT

a) Pengujian Pertama

Pada pengujian pertama mendeteksi tegangan (V) dan arus (A) menggunakan PZEM-004T dan Avometer Digital. Berikut data hasil pengujian dari *prototype* monitoring Listrik dan Kesehatan Videotron Jalan Tol berbasis IoT pada tabel.

No	Parameter	Percobaan	PZEM-004T	Avometer Digital	Selisih
1	Tegangan	1	221 V	221 V	0 V
2	Tegangan	2	220 V	221 V	1 V
3	Tegangan	3	222 V	221 V	1 V
4	Tegangan	4	221 V	221 V	0 V
5	Arus	1	1.1 A	1.1 A	0 A
6	Arus	2	1.0 A	1.0 A	0 A
7	Arus	3	1.2 A	1.1 A	0.1 A
8	Arus	4	1.1 A	1.1 A	0 A

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 1, sensor PZEM-004T mampu membaca parameter tegangan dan arus dengan tingkat akurasi yang baik. Selisih pembacaan tegangan hanya berkisar antara 0-1 Volt, sedangkan selisih pembacaan arus berkisar antara 0-0,1 Ampere dibandingkan alat ukur standar. Hal ini menunjukkan bahwa sensor dapat digunakan untuk monitoring kelistrikan secara real-time pada sistem videotron.

b) Pengujian Kedua

Pada pengujian kedua mendeteksi Suhu (C) dan Kelembaban (%) perangkat menggunakan DHT22 dan Thermometer Digital. Berikut data hasil pengujian dari *prototype* monitoring Listrik dan Kesehatan Videotron Jalan Tol berbasis IoT pada tabel

No	Parameter	Percobaan	DHT22	Thermometer Digital	Selisih
1	Suhu	1	27 °C	28 °C	1 °C
2	Suhu	2	28 °C	28 °C	0 °C
3	Suhu	3	29 °C	28 °C	1 °C
4	Suhu	4	28 °C	28 °C	0 °C
5	Kelembaban	1	60 %	60 %	0 %
6	Kelembaban	2	61 %	60 %	1 %
7	Kelembaban	3	59 %	60 %	1 %
8	Kelembaban	4	60 %	60 %	0 %

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 2, sensor DHT22 mampu membaca suhu dan kelembaban dengan cukup akurat. Selisih pembacaan suhu hanya sebesar 0-1°C dan kelembaban sebesar 0-1% dibandingkan alat ukur Thermometer Digital. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sensor DHT22 dapat digunakan untuk monitoring kondisi lingkungan pada panel videotron.

c) Pengujian Ketiga

Pada pengujian ketiga perbandingan antara tampilan antarmuka Blynk & LCD terkait monitoring hasil pembacaan sensor. Berikut data hasil pengujian dari *prototype* monitoring Listrik dan Kesehatan Videotron Jalan Tol berbasis IoT pada tabel

No	Parameter	Percobaan	Blynk	LCD	Selisih
1	Tegangan	1	220 V	220 V	0 V

2	Tegangan	2	221 V	221 V	0 V
3	Tegangan	3	220 V	220 V	0 V
4	Tegangan	4	221 V	221 V	0 V
5	Arus	1	1 A	1 A	0 A
6	Arus	2	1.1 A	1.1 A	0 A
7	Arus	3	1.0 A	1.0 A	0 A
8	Arus	4	1.1 A	1.1 A	0 A
9	Daya	1	0.10 W	0.10 W	0 W
10	Daya	2	0.11 W	0.11 W	0 W
11	Daya	3	0.10 W	0.10 W	0 W
12	Daya	4	0.10 W	0.10 W	0 W
13	Frekuensi	1	50 Hz	50 Hz	0 Hz
14	Frekuensi	2	50 Hz	50 Hz	0 Hz
15	Frekuensi	3	50 Hz	50 Hz	0 Hz
16	Frekuensi	4	50 Hz	50 Hz	0 Hz

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 3, seluruh data yang ditampilkan pada aplikasi Blynk dan LCD menunjukkan hasil yang sama tanpa adanya selisih. Hal ini menunjukkan bahwa sistem monitoring mampu menampilkan data secara real-time dengan baik dan stabil.

d) Pengujian Keempat

Pada pengujian keempat perbandingan antara tampilan antarmuka Blynk & LCD terkait monitoring hasil pembacaan sensor. Berikut data hasil pengujian dari *prototype* monitoring Listrik dan Kesehatan Videotron Jalan Tol berbasis IoT pada table

No	Kondisi	Percobaan	Blynk	Telegram	Status
1	Listrik Padam	1	Terkirim	Terkirim	Berhasil
2	Listrik Padam	2	Terkirim	Terkirim	Berhasil
3	Listrik Padam	3	Terkirim	Terkirim	Berhasil
4	Listrik Padam	4	Terkirim	Terkirim	Berhasil
5	Suhu > 40°C	1	Terkirim	Terkirim	Berhasil
6	Suhu > 40°C	2	Terkirim	Terkirim	Berhasil
7	Suhu > 40°C	3	Terkirim	Terkirim	Berhasil
8	Suhu > 40°C	4	Terkirim	Terkirim	Berhasil

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4, sistem berhasil mengirimkan notifikasi melalui aplikasi Blynk dan Telegram pada seluruh percobaan. Notifikasi berhasil terkirim ketika terjadi kondisi listrik padam maupun suhu melebihi batas normal. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem early warning dapat bekerja dengan baik dalam memberikan informasi gangguan kepada teknisi secara cepat.

4. DISCUSSION/CONCLUSION ‘

Berdasarkan hasil pengujian, sistem monitoring listrik dan kesehatan perangkat videotron berbasis Internet of Things (IoT) mampu bekerja sesuai dengan tujuan penelitian. Sensor PZEM-004T menunjukkan hasil pembacaan parameter kelistrikan yang cukup akurat dengan selisih pengukuran tegangan sebesar 0–1 Volt dan arus sebesar 0–0,1 Ampere dibandingkan alat ukur standar. Hal ini menunjukkan bahwa sensor dapat digunakan sebagai perangkat monitoring listrik secara real-time pada sistem videotron jalan tol.

Sensor DHT22 juga mampu melakukan monitoring suhu dan kelembaban dengan baik. Selisih pembacaan suhu 0–1°C dan kelembaban 0–1% menunjukkan bahwa sensor memiliki stabilitas yang baik untuk digunakan dalam mendeteksi kondisi lingkungan pada panel videotron. Monitoring suhu dan kelembaban sangat penting untuk mencegah overheating dan kerusakan perangkat akibat kelembaban tinggi. (Sudibyo & Widodo, 2020).

Integrasi NodeMCU ESP8266 dengan aplikasi Blynk dan Telegram berhasil memberikan sistem monitoring jarak jauh secara real-time. Seluruh data monitoring dapat ditampilkan dengan baik pada LCD maupun aplikasi Blynk tanpa adanya perbedaan nilai. Selain itu, fitur notifikasi otomatis berhasil mengirimkan peringatan ketika terjadi listrik padam maupun suhu melebihi batas normal. Hal ini dapat membantu teknisi dalam melakukan penanganan gangguan lebih cepat tanpa harus melakukan pengecekan langsung ke lokasi videotron.

Sistem yang dikembangkan memiliki kelebihan pada biaya implementasi yang relatif rendah, kemudahan instalasi, serta kemampuan monitoring berbasis internet yang dapat diakses kapan saja. Namun, penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena implementasi hanya dilakukan pada satu titik videotron dan belum terintegrasi dengan sistem pusat manajemen jalan tol secara langsung.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring listrik dan kesehatan perangkat videotron berbasis IoT berhasil dirancang dan diimplementasikan menggunakan NodeMCU ESP8266, sensor PZEM-004T, dan sensor DHT22. Sistem mampu melakukan monitoring parameter kelistrikan berupa tegangan, arus, daya, energi listrik, dan frekuensi secara real-time, serta monitoring suhu dan kelembaban perangkat videotron dengan baik.

Hasil pengujian sistem monitoring berhasil menampilkan data secara real-time melalui LCD dan aplikasi Blynk, serta mampu mengirimkan notifikasi otomatis melalui Blynk dan Telegram ketika terjadi gangguan listrik maupun suhu berlebih. Dengan adanya sistem ini, proses monitoring dan penanganan gangguan pada videotron jalan tol menjadi lebih cepat, efektif, dan efisien sehingga dapat meningkatkan keandalan operasional videotron serta mengurangi risiko kerusakan perangkat dan biaya pemeliharaan jangka panjang.

REFERENCES

- [1] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, "Laporan Tahunan Infrastruktur Jalan dan Jembatan," Direktorat Jenderal Bina Marga, 2022. [Online]. Available: <https://binamarga.pu.go.id>
- [2] PT Jasa Marga (Persero) Tbk, "Laporan Keberlanjutan 2022," 2022. [Online]. Available: <https://www.jasamarga.com>
- [3] A. Rahmat and D. Yuliani, "Analisis Efisiensi Energi pada Videotron Jalan Tol Menggunakan Sensor Arus dan Tegangan," *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, vol. 7, no. 2, pp. 55–61, 2019.
- [4] D. Nugroho and S. Widodo, "Sistem Monitoring Daya Listrik Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan NODEMCU ESP8266 dan Blynk," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 9, no. 1, pp. 23–30, 2020.
- [5] K. Mekki, E. Bajic, F. Chaxel, and F. Meyer, "A Comparative Study of LPWAN Technologies for Large-scale IoT Deployment," *ICT Express*, vol. 5, no. 1, pp. 1–7, 2019, doi: 10.1016/j.icte.2019.01.005.
- [6] PT Trans Marga Jateng, "Profil Perusahaan & Informasi Jalan Tol Semarang–Solo," 2022. [Online]. Available: <https://www.transmargajateng.co.id>

- [7] Espressif Systems, "ESP8266EX Datasheet," 2022. [Online]. Available: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf
- [8] Gravitech, "I2C LCD Interface," 2016. [Online]. Available: <https://www.gravitech.us/i2clcd.html>
- [9] R. S. Pressman, *Software Engineering: A Practitioner's Approach*, 8th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2014.
- [10] B. Hartono, "Teknologi Videotron Digital untuk Informasi Jalan Raya," *Jurnal Teknologi Komunikasi*, vol. 5, no. 1, pp. 34–42, 2020.
- [11] United Nations Office for Disaster Risk Reduction, "Terminology: Early Warning System," UNDRR, 2023. [Online]. Available: <https://www.undrr.org/terminology/early-warning-system>
- [12] Y. A. Sudibyo and S. Widodo, "Implementasi Sistem Peringatan Dini Berbasis IoT pada Infrastruktur Publik," *Jurnal Teknologi Informasi*, vol. 8, no. 2, pp. 101–108, 2020.
- [13] M. A. Mazidi, S. Naimi, and S. Naimi, *The 8051 Microcontroller and Embedded Systems: Using Assembly and C*, 2nd ed. Pearson Education, 2016.
- [14] Circuit Schools, "DHT22 temperature and humidity sensor," 2024. [Online]. Available: <https://www.circuitschools.com/dht22-temperature-and-humidity-sensor/>
- [15] Electronics Manufacturing Service, "DHT22 pinout, how it works and its application," 2024. [Online]. Available: <https://electronicmanufacturingservice.org/dht22-pinout-how-it-works-and-its-application/>
- [16] Oxford Reference, "Monitoring," in *A Dictionary of Public Health*. Oxford University Press, 2024. [Online]. Available: <https://www.oxfordreference.com>
- [17] United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, "Monitoring and evaluation," Wikipedia, 2025. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Monitoring_and_evaluation
- [18] SparkFun, "What is an Arduino?," [Online]. Available: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/what-is-an-arduino/all>
- [19] Wikipedia, "Arduino," 2025. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Arduino>
- [20] Blynk, "Introduction," Blynk Documentation, 2025. [Online]. Available: <https://docs.blynk.io/en>
- [21] Electronics Ideas, "Understanding Blynk IoT," 2024. [Online]. Available: <https://electronicsideas.com/understanding-blynk-iot/>
- [22] International Council on Systems Engineering, "System: General definition," in *System and Systems Engineering Definitions (INCOSE-TP-2020-002-06)*, 2019. [Online]. Available: <https://www.incose.org/about-systems-engineering/system-and-se-definitions>
- [23] TechTarget, "Uninterruptible Power Supply," 2025.
- [24] Wikipedia, "Uninterruptible power supply," 2025. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Uninterruptible_power_supply
- [25] TechTarget, "Modem (modulator-demodulator)," 2024. [Online]. Available:

<https://www.techtarget.com/whatis/definition/modem>