



## PROTOTYPE SMART IOT SAFETY AND ENERGY MONITORING SYSTEM BERBASIS ESP32 UNTUK MONITORING DAN PROTEKSI INSTALASI LISTRIK SECARA REAL-TIME

Tama Marito Aritonang<sup>1</sup>, Karya Cipta Mikado siregar<sup>2</sup>, Anja Tri Darmawan<sup>3</sup> Eka  
Dodi Suryanto<sup>4</sup> Dian Putra Saragi<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan,

[tamamaritoaritonang@gmail.com](mailto:tamamaritoaritonang@gmail.com)<sup>1</sup>,

[Karya.5232530002@mhs.unimed.ac.id](mailto:Karya.5232530002@mhs.unimed.ac.id)<sup>2</sup>, [anja.5233530016@mhs.unimed.ac.id](mailto:anja.5233530016@mhs.unimed.ac.id)<sup>3</sup>

[ekadodisuryanto@unimed.ac.id](mailto:ekadodisuryanto@unimed.ac.id)<sup>4</sup>

[dianpsaragi@unimed.ac.id](mailto:dianpsaragi@unimed.ac.id)<sup>5</sup>

**Abstrak:** Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring dan proteksi instalasi listrik berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32. Sistem yang dikembangkan mengintegrasikan berbagai sensor kelistrikan dan lingkungan, meliputi tegangan, arus, daya aktif, suhu, kelembaban, konsentrasi gas, deteksi api, serta getaran sebagai indikator kondisi instalasi listrik secara menyeluruh. Data yang diperoleh dari sensor diproses secara lokal oleh ESP32 (edge processing) dan dikirimkan ke platform IoT melalui jaringan WiFi untuk pemantauan secara real-time serta pencatatan data historis. Mekanisme proteksi sistem dirancang menggunakan metode berbasis threshold, di mana setiap parameter dibandingkan dengan batas aman yang telah ditentukan. Ketika nilai parameter melebihi ambang batas, sistem secara otomatis mengaktifkan alarm berupa buzzer dan melakukan pemutusan beban melalui relay sebagai tindakan proteksi dini. Selain itu, sistem juga mampu memberikan informasi kondisi secara langsung melalui tampilan lokal maupun platform monitoring jarak jauh. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan monitoring multi-parameter secara kontinu dengan waktu respon yang cepat dalam mendeteksi kondisi abnormal. Sistem juga menunjukkan kinerja yang stabil dalam kondisi pengujian laboratorium dengan tingkat akurasi pengukuran yang baik dibandingkan alat ukur standar. Dengan demikian, sistem yang dirancang dapat meningkatkan aspek keselamatan, keandalan, serta efisiensi penggunaan energi pada instalasi listrik, serta berpotensi dikembangkan lebih lanjut pada skala implementasi yang lebih luas.

**Kata Kunci:** IoT, ESP32, Monitoring Energi, Proteksi Listrik

**Abstract:** This study aims to design and implement an Internet of Things (IoT)-based system for monitoring and protecting electrical installations using the ESP32 microcontroller. The developed system integrates various electrical and environmental sensors, including voltage, current, active power, temperature, humidity, gas concentration, flame detection, and vibration, to provide comprehensive monitoring of electrical system conditions. The collected data is processed locally by the ESP32 through edge processing and transmitted to an IoT platform via WiFi for real-time monitoring and historical data logging. The protection mechanism is implemented using a threshold-based approach, where each parameter is continuously compared with predefined safety limits. When the measured values exceed the threshold, the system automatically activates an alarm (buzzer) and disconnects the electrical load through a relay as an early protection action. In addition, the system provides both local display information and remote monitoring capabilities through the IoT platform. Experimental results indicate that the system is capable of performing continuous multi-parameter monitoring with fast response in detecting abnormal conditions. The system also demonstrates stable performance under laboratory-scale testing with good measurement accuracy compared to standard measuring instruments. Therefore, the proposed system can enhance safety, reliability, and energy efficiency in electrical installations and has potential for further development in larger-scale applications.

**Keywords:** IoT, ESP32, Energy Monitoring, Electrical Protection

## **PENDAHULUAN**

Gangguan pada instalasi listrik seperti arus lebih (overcurrent), tegangan tidak stabil (undervoltage maupun overvoltage), serta peningkatan suhu berlebih merupakan faktor utama yang dapat menyebabkan kerusakan peralatan listrik dan meningkatkan risiko kebakaran[1]. Secara teknis, arus yang melebihi kapasitas penghantar akan meningkatkan rugi-rugi daya yang sebanding dengan kuadrat arus ( $P = I^2R$ ), sehingga memicu pemanasan konduktor secara berlebihan[2]. Kondisi ini dapat mempercepat degradasi isolasi, menurunkan umur pakai peralatan, serta meningkatkan potensi terjadinya kegagalan sistem secara keseluruhan.

Selain parameter kelistrikan, faktor lingkungan juga memiliki peran penting dalam menentukan tingkat keamanan instalasi listrik. Parameter seperti suhu, kelembaban, serta keberadaan gas berbahaya atau mudah terbakar dapat memperburuk kondisi operasional sistem. Panel listrik yang tertutup dengan ventilasi terbatas berpotensi mengalami akumulasi panas dan gas, yang dalam kondisi tertentu dapat memicu percikan listrik (arc fault) dan menyebabkan kebakaran[3]. Oleh karena itu, sistem monitoring modern perlu mengintegrasikan parameter kelistrikan dan lingkungan secara simultan untuk meningkatkan efektivitas deteksi dini terhadap potensi gangguan.

Pada umumnya, sistem proteksi konvensional seperti Miniature Circuit Breaker (MCB) hanya bekerja secara reaktif, yaitu memutus aliran listrik ketika terjadi gangguan seperti arus lebih atau hubung singkat. Meskipun efektif dalam melindungi sistem dari kerusakan langsung, perangkat ini tidak mampu memberikan informasi kondisi sistem secara real-time maupun menyediakan data historis yang dapat digunakan untuk analisis preventif. Keterbatasan ini menyebabkan proses identifikasi gangguan menjadi kurang optimal dan sering kali terlambat, sehingga meningkatkan risiko kerusakan yang lebih besar.

Seiring dengan perkembangan teknologi, konsep Internet of Things (IoT) telah membuka peluang dalam pengembangan sistem monitoring dan proteksi yang lebih cerdas dan terintegrasi. IoT memungkinkan berbagai perangkat sensor untuk terhubung dan berkomunikasi melalui jaringan internet, sehingga data dapat dipantau secara real-time dari lokasi yang berbeda[4]. Dalam konteks ini, penggunaan mikrokontroler seperti

ESP32 menjadi solusi yang relevan karena memiliki kemampuan konektivitas WiFi terintegrasi, performa pemrosesan yang tinggi, serta dukungan terhadap berbagai protokol komunikasi untuk integrasi multi-sensor.

Dengan menggabungkan sensor kelistrikan dan sensor lingkungan dalam satu sistem berbasis IoT, proses monitoring dapat dilakukan secara komprehensif dan berkelanjutan. Selain itu, penerapan konsep edge computing pada ESP32 memungkinkan sistem untuk melakukan pengolahan data dan pengambilan keputusan secara lokal, sehingga respon terhadap kondisi abnormal dapat dilakukan dengan cepat tanpa bergantung sepenuhnya pada server atau cloud.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring dan proteksi instalasi listrik berbasis IoT menggunakan ESP32 yang mampu melakukan pemantauan multi-parameter secara real-time serta memberikan respon proteksi otomatis terhadap kondisi abnormal. Sistem yang dikembangkan diharapkan dapat meningkatkan aspek keselamatan, keandalan sistem, serta efisiensi penggunaan energi pada instalasi listrik, khususnya pada skala laboratorium sebagai tahap awal pengembangan.

## **METODE PENELITIAN**

### **2.1 Tahapan Penelitian**

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan sistematis yang bertujuan untuk memastikan prototype yang dirancang bekerja sesuai dengan spesifikasi teknis dan standar keselamatan. Tahapan penelitian dimulai dari proses perancangan konseptual hingga evaluasi performa sistem secara menyeluruh.

Tahap pertama adalah perancangan sistem, yang meliputi penyusunan blok diagram, penentuan spesifikasi sensor, perancangan alur kerja (flowchart), serta penetapan nilai ambang batas (threshold) untuk setiap parameter yang dimonitor. Pada tahap ini juga dilakukan perencanaan integrasi antara sensor lingkungan dan sensor kelistrikan dengan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali.

Tahap kedua adalah perakitan perangkat keras (hardware), yaitu proses instalasi sensor,

modul PZEM, relay, buzzer, dan OLED ke dalam rangkaian berbasis ESP32. Perakitan dilakukan dengan memperhatikan pemisahan jalur tegangan rendah (DC) dan tegangan tinggi (AC) guna meningkatkan aspek keselamatan dan mengurangi gangguan elektromagnetik.

Tahap ketiga adalah pemrograman ESP32, yang mencakup inisialisasi sensor, pembacaan data, pengolahan nilai, pengambilan keputusan berbasis threshold, serta pengiriman data ke platform IoT melalui koneksi WiFi. Program dirancang agar sistem mampu melakukan monitoring secara kontinu dan merespon kondisi abnormal secara otomatis[4].

Tahap keempat dan kelima adalah pengujian bertahap dan analisis performa sistem. Pengujian dilakukan mulai dari uji masing-masing sensor, uji integrasi sistem tanpa beban AC, hingga uji sistem secara penuh dengan beban listrik. Data hasil pengujian dianalisis untuk mengetahui tingkat akurasi, waktu respon sistem, serta keandalan mekanisme proteksi otomatis.

## **2.2 Perangkat Keras**

### ESP32 DevKit

Berfungsi sebagai pusat kendali sistem yang membaca data dari seluruh sensor, memproses informasi berdasarkan nilai ambang batas (threshold), mengendalikan relay dan buzzer, serta mengirimkan data ke platform IoT melalui WiFi.

### SHT31

Digunakan untuk mengukur suhu dan kelembaban lingkungan secara digital sebagai indikator kondisi panel atau ruangan guna mendeteksi potensi overheating dan kelembaban berlebih.

### MQ-135

Berfungsi mendeteksi keberadaan gas berbahaya atau gas mudah terbakar di sekitar instalasi listrik sebagai sistem peringatan dini terhadap risiko kebakaran.

### Flame Sensor

Digunakan untuk mendeteksi nyala api melalui radiasi inframerah dan memberikan sinyal digital ketika api terdeteksi.

SW-420

Berfungsi mendeteksi getaran atau benturan abnormal pada panel listrik yang dapat mengindikasikan gangguan mekanis atau kondisi tidak stabil.

PZEM-004T

Digunakan untuk mengukur parameter kelistrikan meliputi tegangan (V), arus (A), daya aktif (W), dan energi listrik (kWh) sebagai bagian dari sistem monitoring energi.

Relay 10A

Berfungsi sebagai aktuator proteksi yang memutus beban listrik secara otomatis ketika terdeteksi kondisi abnormal.

OLED I2C

Digunakan sebagai media tampilan lokal untuk menampilkan data monitoring secara real-time seperti suhu, arus, dan status sistem.

### **2.3 Algoritma Sistem**

Algoritma sistem dirancang untuk memastikan proses monitoring dan proteksi berjalan secara kontinu dan responsif. Sistem bekerja dalam siklus pembacaan data (looping) sehingga seluruh parameter dipantau secara real-time. Mekanisme pengambilan keputusan berbasis threshold diterapkan untuk menentukan apakah sistem berada dalam kondisi normal atau abnormal.

Tahap pertama adalah inisialisasi sensor dan koneksi jaringan. Pada tahap ini, ESP32 melakukan konfigurasi komunikasi I2C untuk sensor SHT31 dan OLED, UART untuk modul PZEM-004T, serta ADC untuk pembacaan sensor MQ-135. Sistem juga melakukan koneksi ke jaringan WiFi dan platform IoT sebagai media pengiriman data. Proses ini memastikan seluruh perangkat siap beroperasi sebelum masuk ke mode monitoring.

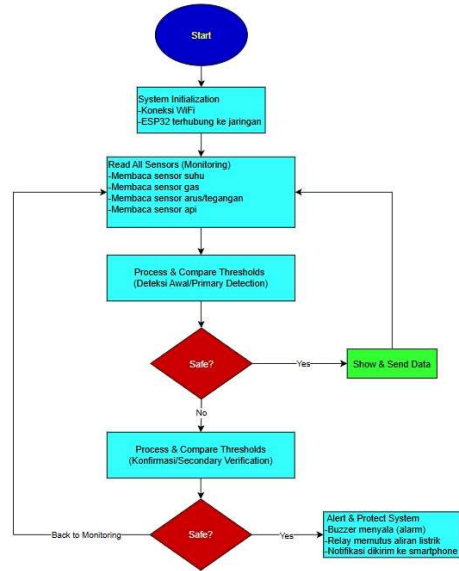
Tahap kedua adalah pembacaan dan akuisisi data. ESP32 membaca nilai suhu, kelembaban, konsentrasi gas, status api, getaran, serta parameter kelistrikan (tegangan, arus, daya, dan energi). Data yang diperoleh kemudian disimpan sementara dalam variabel sistem untuk diproses lebih lanjut. Pembacaan dilakukan secara periodik dengan interval waktu tertentu untuk menjaga kestabilan sistem[2].

Tahap ketiga adalah proses evaluasi berbasis threshold. Setiap parameter dibandingkan dengan batas aman yang telah ditentukan. Secara logika matematis, jika suatu parameter  $x$  memenuhi kondisi  $x_{min} \leq x \leq x_{max}$ , maka sistem dinyatakan normal. Namun, jika  $x > x_{max}$  atau  $x < x_{min}$ , maka sistem masuk ke kondisi abnormal dan memicu mekanisme proteksi.

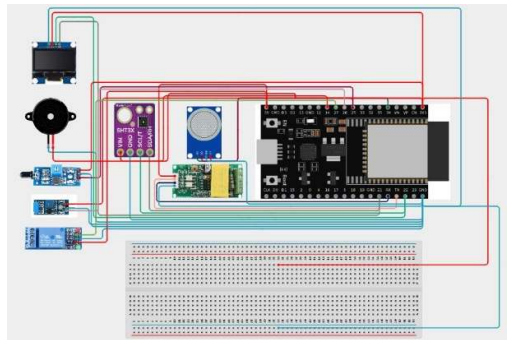
Tahap keempat adalah tindakan sistem berdasarkan hasil evaluasi. Jika seluruh parameter berada dalam batas aman, data ditampilkan pada OLED dan dikirim ke cloud untuk monitoring serta pencatatan historis. Sebaliknya, jika terdeteksi kondisi abnormal seperti arus berlebih, suhu tinggi, gas terdeteksi, atau api muncul, maka ESP32 akan mengaktifkan buzzer sebagai alarm dan memutus beban melalui relay. Notifikasi kondisi bahaya juga dikirimkan ke platform IoT sebagai peringatan jarak jauh kepada pengguna.

Dengan algoritma ini, sistem tidak hanya berfungsi sebagai alat monitoring pasif, tetapi juga sebagai sistem proteksi aktif yang mampu mengambil keputusan secara otomatis. Pendekatan ini meningkatkan kecepatan respon terhadap gangguan dan mendukung implementasi sistem keselamatan berbasis IoT yang lebih andal dan adaptif.

**PROTOTYPE SMART IOT SAFETY AND ENERGY MONITORING SYSTEM BERBASIS ESP32  
UNTUK MONITORING DAN PROTEKSI INSTALASI LISTRIK SECARA REAL-TIME**



Gambar 3.1 Flowchart



Gambar 3.2 skematik

#### 2.4 Parameter Threshold

Parameter	Batas Aman
Tegangan	200–240 V
Arus	< 5 A
Suhu	< 45°C
Gas	< 400 ppm
Api	Tidak terdeteksi

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Hasil Pengujian Sensor Tegangan

Pengujian sensor tegangan dilakukan menggunakan modul PZEM-004T dengan membandingkan hasil pembacaan terhadap alat ukur standar (multimeter digital) pada rentang tegangan 200–240 V sesuai dengan batas aman sistem.

Tabel 3.1 Hasil Pengujian

<b>Tegangan Referensi (V)</b>	<b>Sensor (V)</b>	<b>Error (%)</b>
<b>220</b>	218	0.9
<b>230</b>	228	0.8
<b>240</b>	237	1.2

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor mampu membaca nilai tegangan dengan akurasi yang baik dalam rentang operasional tersebut. Rata-rata selisih pengukuran berada pada kisaran  $\pm 1-3$  V dengan persentase error kurang dari 2%. Nilai ini masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima untuk sistem monitoring energi listrik berbasis IoT[5].

Selain itu, sistem juga mampu mendeteksi kondisi tegangan di luar batas aman. Ketika tegangan turun di bawah 200 V (undervoltage) atau melebihi 240 V (overvoltage), sistem secara otomatis mengidentifikasi kondisi tersebut sebagai abnormal. Kondisi ini kemudian diteruskan ke modul proteksi untuk dilakukan tindakan lebih lanjut.

Dengan demikian, sensor tegangan tidak hanya berfungsi sebagai alat monitoring, tetapi juga sebagai bagian penting dalam mekanisme deteksi dini gangguan pada sistem.

### 3.2 Waktu Respon Sistem

Pengujian waktu respon sistem dilakukan dengan mensimulasikan kondisi parameter yang melewati batas threshold, seperti arus di atas 5 A, suhu di atas 45°C, serta deteksi gas di atas 400 ppm.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu merespon kondisi abnormal dalam waktu rata-rata 1–2 detik sejak parameter melewati batas aman. Setelah kondisi tersebut terdeteksi, sistem segera melakukan tindakan berupa aktivasi buzzer sebagai alarm dan pemutusan beban melalui relay.

Kecepatan respon sistem dipengaruhi oleh interval pembacaan sensor, kecepatan pemrosesan data pada ESP32, serta stabilitas komunikasi antar modul[6]. Dengan pengaturan interval pembacaan yang optimal, sistem mampu memberikan respon yang cepat tanpa mengorbankan kestabilan data.

Respon yang cepat ini sangat penting dalam sistem proteksi, karena dapat mencegah terjadinya kerusakan yang lebih besar akibat keterlambatan penanganan gangguan.

### **3.3 Analisis Sistem Proteksi**

Analisis sistem proteksi dilakukan berdasarkan parameter threshold yang telah ditentukan, yaitu tegangan 200–240 V, arus  $< 5$  A, suhu  $< 45^{\circ}\text{C}$ , konsentrasi gas  $< 400$  ppm, serta kondisi tanpa deteksi api[7].

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja secara efektif dalam mendeteksi dan merespon berbagai kondisi abnormal sebagai berikut:

- 1. Tegangan (200–240 V)**

Sistem mampu mendeteksi kondisi undervoltage ( $< 200$  V) dan overvoltage ( $> 240$  V). Pada kondisi ini, sistem memberikan peringatan dan melakukan tindakan proteksi untuk mencegah kerusakan peralatan.

- 2. Arus ( $< 5$  A)**

Ketika arus melebihi 5 A, sistem langsung mengidentifikasi kondisi overcurrent dan memutus beban melalui relay. Hal ini efektif dalam mencegah terjadinya pemanasan berlebih pada penghantar.

- 3. Suhu ( $< 45^{\circ}\text{C}$ )**

Sistem mampu mendeteksi peningkatan suhu di atas  $45^{\circ}\text{C}$  sebagai indikasi overheating. Pada kondisi ini, buzzer diaktifkan sebagai alarm peringatan dini.

- 4. Gas ( $< 400$  ppm)**

Ketika konsentrasi gas melebihi 400 ppm, sistem menganggap kondisi tersebut

sebagai potensi bahaya dan segera memberikan peringatan.

#### **5. Api (tidak terdeteksi)**

Jika sensor mendeteksi keberadaan api, sistem secara langsung mengaktifkan alarm dan memutus beban sebagai langkah proteksi darurat.

Selain mampu mendeteksi masing-masing parameter secara individu, sistem juga menunjukkan kemampuan dalam menangani kondisi multi-parameter secara simultan. Misalnya, ketika terjadi overcurrent bersamaan dengan peningkatan suhu, sistem tetap mampu merespon secara cepat dan akurat.

Berdasarkan hasil analisis, mekanisme proteksi berbasis threshold yang diterapkan terbukti efektif dalam meningkatkan keselamatan instalasi listrik. Sistem tidak hanya berfungsi sebagai alat monitoring pasif, tetapi juga sebagai sistem proteksi aktif yang mampu mengambil keputusan secara otomatis dan real-time.

## **KESIMPULAN**

Sistem monitoring dan proteksi instalasi listrik berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan ESP32 telah berhasil dirancang dan diimplementasikan dengan baik. Sistem mampu mengintegrasikan berbagai sensor kelistrikan dan lingkungan untuk melakukan pemantauan multi-parameter secara real-time, meliputi tegangan, arus, suhu, gas, serta deteksi api.

Berdasarkan hasil pengujian, sensor tegangan menunjukkan tingkat akurasi yang baik dengan error yang masih dalam batas toleransi, sedangkan sistem secara keseluruhan memiliki waktu respon yang cepat, yaitu sekitar 1–2 detik dalam mendeteksi kondisi abnormal. Mekanisme proteksi berbasis threshold yang diterapkan terbukti efektif dalam mendeteksi kondisi di luar batas aman, seperti tegangan di luar rentang 200–240 V, arus melebihi 5 A, suhu di atas 45°C, serta konsentrasi gas di atas 400 ppm.

Sistem juga mampu memberikan respon otomatis berupa aktivasi alarm dan pemutusan beban melalui relay, sehingga dapat mencegah potensi kerusakan peralatan maupun risiko kebakaran. Selain itu, kemampuan monitoring berbasis IoT memungkinkan pengguna untuk melakukan pemantauan secara jarak jauh dan memperoleh data secara kontinu.

Dengan demikian, sistem yang dikembangkan tidak hanya berfungsi sebagai alat monitoring, tetapi juga sebagai sistem proteksi aktif yang dapat meningkatkan keselamatan, keandalan, dan efisiensi energi pada instalasi listrik. Pengembangan lebih lanjut dapat dilakukan dengan menambahkan fitur analisis data berbasis kecerdasan buatan untuk meningkatkan kemampuan prediksi terhadap potensi gangguan.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- [1] S. Suryono, I. Irianto, and M. Saifudin, "Monitoring and Protection System for Overvoltage, Undervoltage and Unbalance Voltage," *J. Ecotipe (Electronic, Control. Telecommun. Information, Power Eng.*, vol. 9, no. 2, pp. 159–165, 2022, doi: 10.33019/jurnalecotipe.v9i2.3092.
- [2]. Suryono; I. Irianto; M. Saifudin, "Power System Analysis - Hadi Saadat\_320503100.Pdf," vol. 9, no. 2, pp. 159–165, 2022.
- [3] J. T. Simanungkalit and B. M. Rambe, "Penerapan IOT Dalam Pendeteksi Gas (CO) Dan Kebakaran Dengan Notifikasi Aplikasi Telegram," *J. Minfo Polgan*, vol. 14, no. 1, pp. 691–701, 2025, doi: 10.33395/jmp.v14i1.14843.
- [4] L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito, "The Internet of Things: A survey," *Comput. Networks*, vol. 54, no. 15, pp. 2787–2805, 2010, doi: 10.1016/j.comnet.2010.05.010.
- [5] Y. Kim, T. Schmid, Z. M. Charbiwala, and M. B. Srivastava, "ViridiScope: Design and implementation of a fine grained power monitoring system for homes," *ACM Int. Conf. Proceeding Ser.*, pp. 245–254, 2009, doi: 10.1145/1620545.1620582.
- [6] M. Kuzlu, M. Pipattanasomporn, and S. Rahman, "Hardware demonstration of a home energy management system for demand response applications," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 3, no. 4, pp. 1704–1711, 2012, doi: 10.1109/TSG.2012.2216295.
- [7] Z. Haoxing and C. System, *SECURING THE INTERNET OF THINGS*.