

## Rancang Bangun Sistem Real-Time Telemonitoring Gas Radon dan Level Air Tanah sebagai Prekursor Gempa Bumi Menggunakan Mikroprocessor ESP32 di Kantor BPBD Kabupaten Klaten, Jawa Tengah

Bambang Pamungkas<sup>1</sup>, Imam Suharjo<sup>1</sup>, Thomas Oka Pratama<sup>2</sup>, Romi Wiryadinata<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas MercuBuana, Yogyakarta.

<sup>2</sup>Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten.

### Informasi Artikel

Naskah Diterima : 13 Juli 2024

Direvisi : 1 Oktober 2024

Disetujui : 28 November 2024

doi: 10.62870/setrum.v13i2.27565

\*Korespondensi Penulis :  
imam@mercubuana-yogya.ac.id

### Abstract

Klaten Regency is located near the active Opak and Dengkeng tectonic faults, which are sensitive to earthquake activity, so an earthquake precursor monitoring system is needed as a mitigation measure. This research aims to design and implement an Internet of Things (IoT)-based radon gas concentration and groundwater level monitoring system. The radon gas concentration is measured using Radon Eye RD200, and the groundwater level is measured using a real-time pressure gauge sensor. Data from the transducer and sensor is then processed by the ESP 32 microprocessor and sent to the Klaten BPBD EWS web server via an Internet provider connection every minute. In addition, the earthquake precursor data can be used to design an earthquake prediction system. The radon gas concentration and groundwater level monitoring system has been successfully designed using IoT and implemented at the Klaten BPBD office, so this system can be accessed anytime and anywhere with an internet connection. Thus, it can be useful for earthquake mitigation to reduce disaster victims.

**Keywords:** radon, groundwater level, ESP32, Internet of things, earthquake

### Abstrak

Kabupaten Klaten berada di dekat dengan sesar tektonik aktif Opak dan Dengkeng yang sensitif dengan aktivitas gempa bumi sehingga diperlukan sebuah sistem pemantauan precursor gempa bumi sebagai langkah mitigasi. Dalam penelitian ini bertujuan untuk melakukan rancang bangun dan implementasi sistem pemantauan konsentrasi gas radon dan level air tanah berbasis *Internet of Things* (IoT). Pengukuran konsentrasi gas radon menggunakan Radon Eye RD200 dan pengukuran level air tanah menggunakan sensor *pressure gauge* secara *real-time*. Data dari transducer dan sensor kemudian diolah oleh mikroprocessor ESP 32 yang kemudian dikirimkan ke web server EWS BPBD Klaten dengan koneksi internet provider setiap menit secara terus menerus. Selanjutnya data pengukuran precursor gempa bumi tersebut dapat digunakan untuk merancang sebuah sistem prediksi gempa bumi. Sistem pemantauan konsentrasi gas radon dan level air tanah berhasil dirancang bangun menggunakan IoT dan diimplementasikan di Kantor BPBD Klaten sehingga sistem ini dapat diakses dimanapun dan kapanpun dengan koneksi internet. Dengan demikian dapat bermanfaat untuk mitigasi gempa bumi untuk mengurangi korban bencana.

**Kata kunci:** radon, level air tanah, ESP32, Internet of Things, gempa bumi

© 2024 Penerbit Jurusan Teknik Elektro UNTIRTA Press. All rights reserved

## 1. PENDAHULUAN

Gempa bumi adalah getaran yang terjadi di dalam bumi sebagai hasil dari rambatan gelombang pada batuan atau tanah akibat pelepasan energi kinetik dari dalam bumi [1]. Gempa bumi sangat menakutkan karena bisa mengakibatkan korban jiwa, kehilangan harta benda, kerusakan infrastruktur, dan dampak-dampak lainnya [2]. Indonesia berada pada pertemuan antara tiga lempeng tektonik aktif, yaitu Lempeng Pasifik, Indo-Australia, dan Eurasia yang menyebabkan sering terjadinya gempa bumi di Indonesia. Menurut data dari BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika), jumlah gempa di Indonesia mengalami peningkatan dari tahun 2020 hingga 2023 secara berurutan tercatat sebanyak 8.264, 10.570, 10.792, 10.789 kejadian gempa bumi. Sedangkan berdasarkan United State of Geological Survey (USGS), gempa bumi tektonik di Indonesia dengan magnitudo  $\geq M4,5$  pada tahun 2020, 2021, 2022, dan 2023 tercatat sebanyak 581, 718, 737, dan 774 kejadian gempa bumi [3].

Penelitian sebelumnya melakukan kajian terkait dengan potensi gempa dan tsunami di sisi Selatan Jawa dengan ketinggian 20meter karena adanya zona megathrust [4]. Pulau Jawa memiliki populasi terbesar di Indonesia, yaitu 138,75 juta jiwa [5]. Di sisi selatan Pulau Jawa, terdapat populasi  $\pm 6$  juta orang dan  $\pm 2$  juta rumah [6]. MAIPARK menyebutkan bahwa terdapat lebih dari 1600 risiko asuransi tertanggung dengan nilai 31,6 Triliun jika gempa bumi dan tsunami terjadi di Selatan Jawa. Dengan adanya potensi Megathrust di Selatan Pulau Jawa, jumlah penduduk yang besar dan risiko ekonomi di Selatan Pulau Jawa, maka diperlukan suatu sarana prediksi gempa untuk mengurangi risiko yang ditimbulkan akibat gempa bumi [2]. Pada tahun 27 Mei 2006 telah terjadi gempa bumi di Yogyakarta dengan magnitudo M5.9 dengan 5.782 korban jiwa, dan gempa bumi pada tanggal 21 November 2022 di Cianjur dengan magnitudo M5.6 dengan 602 korban jiwa. [7], [8]

Pada tanggal 8 Januari 1995, 9 hari sebelum gempa bumi M7,2 Kobe, konsentrasi radon mencapai puncak lebih dari sepuluh kali lipat dari awal pengukuran sebelum mulai menurun [9]. Sebagai perbandingan, permukaan air tanah juga mengalami berfluktuasi sebelum gempa bumi M7,0 Kyushu pada tahun 2005. Pada tahun 2014, Sunarno dan tim membangun sistem pemantauan level air tanah di Yogyakarta-Indonesia, sementara sistem pemantauan konsentrasi gas radon dibangun pada tahun 2016 [10]. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa jika muka air tanah berfluktuasi, maka gempa bumi akan terjadi antara 4-50 hari yang akan datang. Pada tahun 2018, penelitian Herlambang melakukan pengukuran konsentrasi gas radon dengan *The Safety Siren Pro* dan level air tanah dengan *HR-PTM260 Pressure Sensor*. Pengambilan data konsentrasi gas radon masih dilakukan secara manual dengan melihat rekaman kamera dari tampilan layar alat ukur, sedangkan untuk pengukuran level air tanah masih menggunakan SD card sebagai penyimpanan data yang harus dicek setiap 2 minggu. Hal ini sangat tidak efektif dan efisien dalam sistem pemantauan. Namun, hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa terdapat anomali muka air tanah dan konsentrasi gas radon beberapa hari sebelum gempa bumi di atas magnitudo M4,5 dan tidak ada anomali yang ditunjukkan di bawah M4,5. Terdapat anomali konsentrasi gas radon dan pemantauan muka air tanah sebelum gempa Lombok M7.0. Namun, ia tidak dapat memprediksi kapan gempa bumi akan terjadi karena kurangnya pola statistik yang berbeda yang diperlukan untuk memodelkan kejadian di masa depan [11].

Setiap daerah memiliki karakteristik konsentrasi gas radon dan level air tanah masing-masing. Kabupaten Klaten berada dekat dengan sesar aktif Opak dan Dengkeng sehingga diperlukan sebuah sistem pemantauan konsentrasi gas radon dan ground water sebagai dasar dalam menentukan prediksi gempa bumi. Dengan berkembangnya teknologi informasi, dalam penelitian ini dirancang bangun sebuah sistem pemantauan konsentrasi gas radon dan level air tanah menggunakan *Internet of Things* (IoT) sebagai prekursor gempa bumi di Kabupaten Klaten sehingga dapat digunakan sebagai langkah mitigasi terjadinya bencana alam.

## 2. METODE

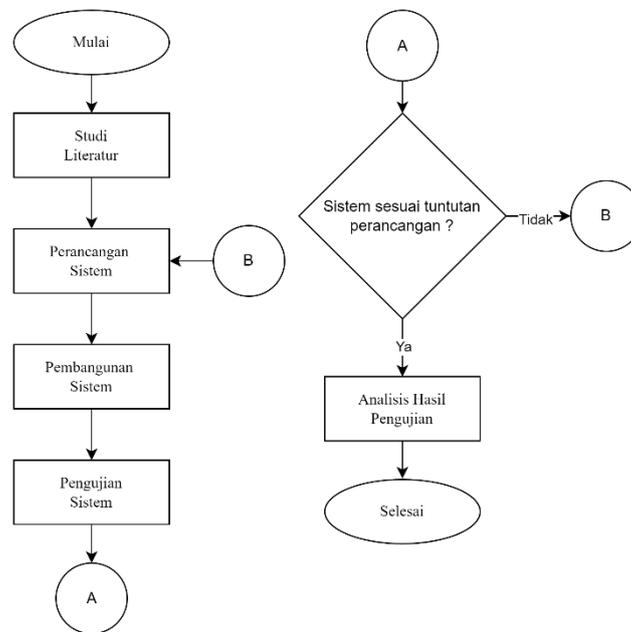
### 2.1. Metode Penelitian

Pada Gambar 1 menunjukkan diagram alir penelitian. Penelitian dimulai dengan tahap studi literatur, di mana informasi dikumpulkan dari jurnal, buku, dan sumber akademik lainnya yang relevan dengan topik penelitian. Tujuan dari tahap ini adalah untuk memahami teori dan konsep terkait, seperti pemantauan gas radon, level air tanah, teknologi IoT, dan sistem prediksi gempa bumi. Selain itu, tahap ini juga bertujuan untuk mengidentifikasi kesenjangan dalam penelitian yang ada dan merumuskan tujuan penelitian berdasarkan temuan tersebut. Setelah itu, masuk ke tahap perancangan sistem yang

melibatkan penentuan kebutuhan fungsional dan non-fungsional dari sistem yang akan dibangun. Desain arsitektur sistem dirancang, termasuk komponen hardware dan software yang akan digunakan, serta protokol komunikasi antara sensor, mikroprosesor, dan server cloud.

Tahap berikutnya adalah pembangunan sistem, yang meliputi implementasi hardware dengan memasang transduser gas radon, sensor level air tanah, dan perangkat mikroprosesor, sesuai dengan desain yang telah dibuat. Selain itu, perangkat lunak yang diperlukan untuk akuisisi data, pengolahan data, dan pengiriman data ke server cloud juga dikembangkan. Semua komponen hardware dan software kemudian diintegrasikan menjadi satu sistem yang bekerja secara harmonis. Setelah sistem dibangun, tahap pengujian sistem dilakukan untuk memastikan semua fungsi berjalan sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan. Ketahanan sistem terhadap berbagai kondisi lingkungan yang mungkin dihadapi selama operasi juga diuji.

Tahap terakhir adalah analisis hasil pengujian, di mana data dari hasil pengujian sistem dikumpulkan dan dianalisis. Analisis data ini bertujuan untuk menilai kinerja sistem, menemukan kelemahan, dan mengevaluasi apakah sistem memenuhi tujuan penelitian. Berdasarkan analisis data pengujian, kesimpulan ditarik, rekomendasi untuk perbaikan diberikan, dan penelitian laporan penelitian disusun. Tahapan-tahapan ini membentuk alur kerja penelitian yang sistematis dari awal hingga akhir, memastikan setiap tahap memberikan dasar yang kuat bagi tahap berikutnya.

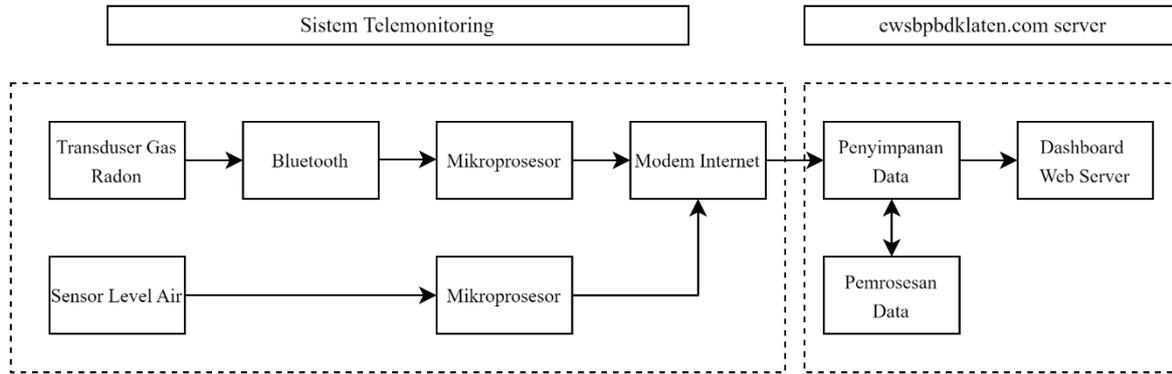


Gambar 1. Diagram alir penelitian.

## 2.2. Skema Sistem Pemantauan

Sistem pemantauan konsentrasi gas radon dan level air tanah secara real-time ini berada di dekat patahan aktif Opak dan Dengkeng, sehingga rentan terhadap aktivitas seismik. Untuk memastikan pengukuran emisi gas radon yang akurat, transduser gas radon ditempatkan secara strategis di dalam ruang chamber dengan ketinggian maksimum 4,142 cm di atas permukaan lantai dengan lubang yang mengarah ke tanah. Pengukuran gas radon dilakukan setiap 10 menit untuk mengurangi pengaruh emisi radiasi dari Actinium dan Thoron [12]. Sedangkan untuk pengukuran level air tanah dilakukan di sumur bor. Desain sistem prediksi gempa diilustrasikan pada Gambar 2. Pengukuran konsentrasi gas radon menggunakan Radon Eye RD200, sedangkan pengukuran level air tanah menggunakan sensor *pressure gauge*. Data dikumpulkan oleh transduser gas radon dan level air tanah dikirim ke mikroprosesor ESP32 yang terintegrasi dengan modul BLE dan modul WiFi. Data kemudian dikirimkan ke *server cloud* untuk pemantauan secara real-time dengan koneksi internet provider setiap satu menit. Data gas radon yang

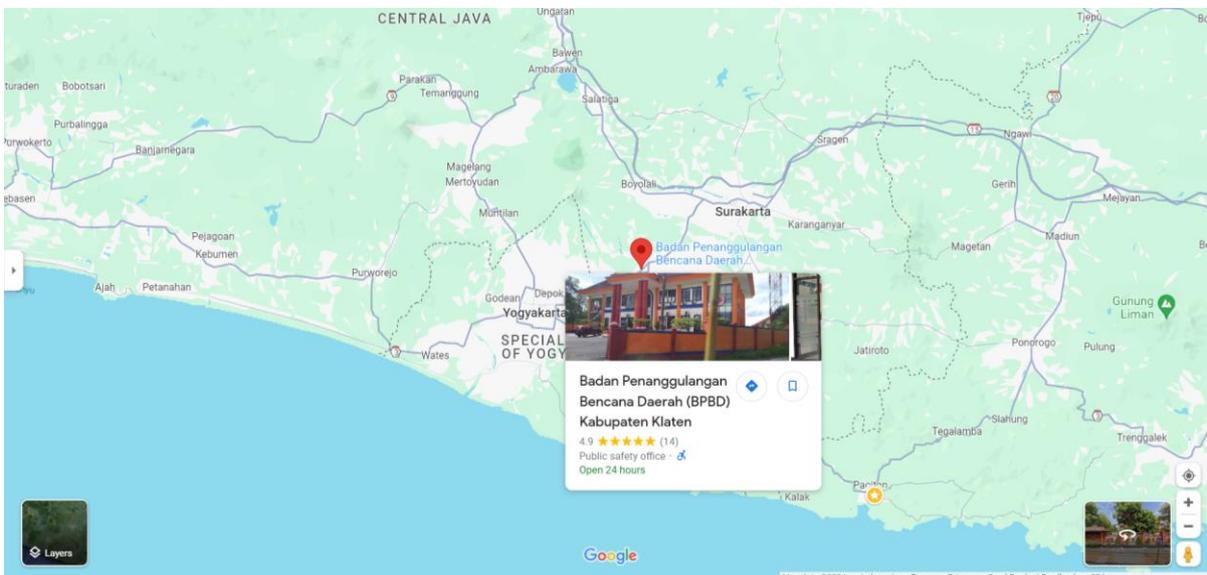
terekam disimpan di server penyimpanan data yang ditentukan dan dapat diakses melalui server web EWS BPBD Klaten.



Gambar 2. Skema sistem pemantauan konsentrasi gas radon dan level air tanah menggunakan *Internet of Things (IoT)*

### 2.3. Pengumpulan Data

Sistem pemantauan konsentrasi gas radon dan level air tanah diletakkan di Kantor BPBD Klaten (-7.701311438482589, 110.59817840462827) yang beralamatkan di Jl. Andalas No.3, Tegaltalang, Semangkek, Kec. Klaten Tengah, Kabupaten Klaten, Jawa Tengah. Lokasi ini dipilih karena dekat dengan sesar aktif Opak dan sesar Dengkeng. Wilayah disekitar sesar menjadi daerah yang paling sensitif adanya perubahan dari aktivitas seismik tersebut. Selain itu BPBD sebagai lembaga pemerintah non-departemen yang melaksanakan tugas penanggulangan bencana di daerah baik Provinsi maupun Kabupaten/ Kota, sehingga sangat sesuai untuk mengimplementasikan sistem pemantauan konsentrasi gas radon dan level air tanah sebagai prekursor gempa bumi.



Gambar 3. Lokasi implementasi sistem pemantauan konsentrasi gas radon dan level air tanah.

[13]

### 2.4. Analisis

Pengujian sistem dilakukan dengan perangkat laptop dan telepon pintar dengan melakukan akses pada laman server EWS BPBD Klaten. Data dari konsentrasi gas radon yang ditampilkan oleh layer RD200 dibandingkan dengan nilai yang ditampilkan pada tampilan dashboard web server.



Informasi waktu juga ditampilkan pada dashboard web server untuk mengetahui waktu pengiriman data.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Instalasi sistem pengiriman data konsentrasi gas radon dan level air tanah telah dirancang bangun dan diimplementasikan di Kantor BPBD Klaten seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Hal ini dilakukan sebagai langkah untuk melakukan pemantauan prekursor gempa bumi karena berada pada daerah yang rawan terhadap gempa bumi dan berada dekat dengan sesar tektonik aktif sebagai salah satu langkah mitigasi kejadian bencana. Pengukuran level air tanah dilakukan di sumur bor seperti yang ditunjukkan pada

Gambar 5. Dalam implementasi pemantauan konsentrasi gas radon, transduser RD200 disiapkan untuk dapat terhubung dengan *Wifi module* mikroprosesor ESP32 hingga pada layer Radon Eye RD200 memiliki gambar sinyal seperti pada Gambar 6. Lubang bukaan ke tanah seperti pada Gambar 7 diperlukan untuk jalur gas radon dari tanah ke permukaan sehingga gas radon dapat terukur oleh transduser. Pengukuran konsentrasi gas radon diletakkan di sebuah ruang di kantor BPBD Klaten seperti pada Gambar 8.



Gambar 4. Instalasi sistem pengiriman data konsentrasi gas radon dan level air tanah.



Gambar 5. Instalasi sensor level air tanah.

Hasil pengukuran konsentrasi gas radon, level air tanah, dan waktu pengiriman data ditampilkan pada dashboard EWS BPBD Klaten pada Gambar 9. Antarmuka pengguna menampilkan data dalam bentuk grafik pengukuran konsentrasi gas radon dalam  $Bq/m^3$ , sedangkan level air tanah dalam centimeter untuk sumbu vertikalnya dan sumbu horizontalnya adalah waktu pengiriman data prekursor. Dalam data pengukuran radon yang ditampilkan di dashboard adalah isotop radon dengan massa 222 atau  $^{222}Rn$ . Hal ini dikarenakan  $^{222}Rn$  memiliki kelimpahan isotop yang relatif lebih banyak dibandingkan isotop radon lainnya di alam.  $^{222}Rn$  adalah isotop yang paling stabil di antara puluhan isotop radon, dengan waktu paruh terlama yaitu 3,823 hari.

Sistem pengukuran konsentrasi gas radon menggunakan sensor radon RD200 yang memperbarui datanya setiap 10 menit untuk mengurangi pengaruh emisi radiasi dari Actinium dan Thoron, sehingga sistem harus mengakuisisi dan mengirimkan data ke server dalam tenggat waktu tersebut. Untuk mengantisipasi kesalahan yang mungkin terjadi sehingga sistem tidak memenuhi tenggat waktu, sistem diatur untuk terus memperbarui data radon di server setiap 1 menit. Dengan demikian, jika sistem berjalan normal, server akan menerima 10 data yang sama dalam 10 menit dari ESP32.



Gambar 6. Sensor gas radon



Gambar 7. Pembuatan lubang sebagai bukaan udara dari tanah

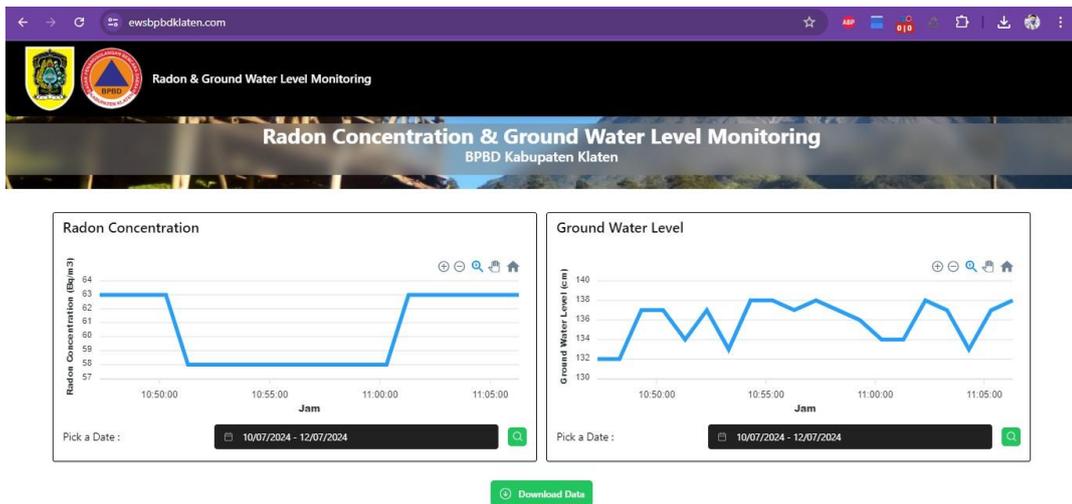


Gambar 8. Instalasi sistem pemantauan konsentrasi gas radon di sebuah ruangan Kantor BPBD Klaten

Sistem pengukuran level air tanah yang digunakan dalam rancang bangun sistem ini menggunakan *pressure gauge*. Data yang masuk dari sensor *pressure gauge* adalah tekanan. Dengan menggunakan persamaan tekanan hidrostatik seperti pada Persamaan 1, maka dapat ditentukan kedalaman dari sebuah sumur ( $h$ ) dengan variabel densitas air ( $\rho = 996,7503 \text{ kg/m}^3$ ) dan gaya gravitasi ( $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ) yang perhitungannya diproses pada mikroprosesor ESP32.

$$P = \rho \cdot g \cdot h \quad (1)$$

Dengan adanya implementasi sistem pemantauan konsentrasi gas radon dan level air tanah di Kantor BPBD Klaten, masih diperlukan pemantauan secara terus menerus dan penelitian lebih lanjut mengenai hubungan antara prekursor gempa bumi yang dipantau dengan kejadian gempa bumi yang kemudian didapatkan sebuah algoritma peringatan dini gempa bumi. Dengan demikian perkembangan teknologi informasi dapat bermanfaat sebagai sarana untuk membangun sebuah sistem peringatan dini gempa bumi yang dapat menyelamatkan banyak orang.



Gambar 9. Tampilan dashboard monitoring konsentrasi gas radon dan level air tanah.

#### 4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini, telah berhasil melakukan rancang bangun dan implementasi sistem pemantauan konsentrasi gas radon dan level air tanah berbasis *Internet of Things* (IoT) di Kantor BPBD Klaten sebagai langkah mitigasi terhadap potensi kejadian gempa bumi sehingga dapat mengurangi dampak terjadinya bencana. Data konsentrasi gas radon dan level air tanah dapat dipantau dai laman web server EWS BPBD Klaten dimanapun, kapanpun, selama memiliki koneksi internet.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ucapkan terimakasih kepada BPBD Klaten yang telah mengizinkan melakukan implementasi sistem pengukuran konsentrasi gas radon dan level air tanah, Tim Laboratorium Sensor dan Sistem Telekontrol yang memberikan masukan terhadap rancang bangun sistem pemantauan konsentrasi gas radon dan level air tanah.

#### REFERENSI

- [1] D. Noor, *Pengantar Mitigasi Bencana Geologi*. Deepublish, 2014.
- [2] Y. Hu, S. C. Liu, and W. Dong, *Earthquake engineering*, 1st ed. London ; New York: E&FN Spon, 1996.
- [3] "USGS.gov," Science for changing word. Accessed: Oct. 12, 2024. [Online]. Available: [www.usgs.gov](http://www.usgs.gov)
- [4] P. Supendi *et al.*, "Potential megathrust earthquakes and tsunamis off the southern coast of West Java, Indonesia," In Review, preprint, Nov. 2020. doi: 10.21203/rs.3.rs-104583/v1.
- [5] B. P. S. Badan Pusat Statistik, "Jumlah Penduduk Hasil Proyeksi Menurut Provinsi dan Jenis Kelamin (Ribu Jiwa), 2018-2020," Badan Pusat Statistik. Accessed: Dec. 24, 2022. [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/indicator/12/1886/1/jumlah-penduduk-hasil-proyeksi-menurut-provinsi-dan-jenis-kelamin.html>
- [6] MAIPARK Indonesia, *Webinar MAIPARK 2020: Kajian Risiko Tsunami Megathrust Selatan Jawa*, (Sep. 28, 2020). Accessed: Dec. 27, 2020. [Online Video]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=Bg4jgFjVGEI&list=PLc-15UqMQI5OgU-eoXpaja8uWGJ-9EmeN&index=3>
- [7] G. S. Putri, "Mengenang Gempa Jogja 2006, Ini Mekanisme dan Potensi Bahayanya," Kompas. Accessed: Oct. 07, 2024. [Online]. Available: <https://www.kompas.com/sains/read/2021/05/27/120200623/mengenang-gempa-jogja-2006-ini-mekanisme-dan-potensi-bahayanya?page=all>
- [8] Riga Nurul Iman, "Korban Meninggal Dunia Akibat Gempa Cianjur 602 Jiwa," *Republica*, Dec. 16, 2022. Accessed: May 22, 2023. [Online]. Available:

[https://news.republika.co.id/berita/rmyrgb368/korban-meninggal-dunia-akibat-gempa-cianjur-602-](https://news.republika.co.id/berita/rmyrgb368/korban-meninggal-dunia-akibat-gempa-cianjur-602-jiwa#:~:text=Data%20korban%20meninggal%20dunia%20itu,dan%20korban%20hilang%20dela)

[jiwa#:~:text=Data%20korban%20meninggal%20dunia%20itu,dan%20korban%20hilang%20dela](https://news.republika.co.id/berita/rmyrgb368/korban-meninggal-dunia-akibat-gempa-cianjur-602-jiwa#:~:text=Data%20korban%20meninggal%20dunia%20itu,dan%20korban%20hilang%20dela)

[pan%20orang.](https://news.republika.co.id/berita/rmyrgb368/korban-meninggal-dunia-akibat-gempa-cianjur-602-jiwa#:~:text=Data%20korban%20meninggal%20dunia%20itu,dan%20korban%20hilang%20dela)

- [9] G. Igarashi *et al.*, “Ground-Water Radon Anomaly Before the Kobe Earthquake in Japan,” *Science*, vol. 269, no. 5220, pp. 60–61, Jul. 1995, doi: 10.1126/science.269.5220.60.
- [10] Sunarno, M. M. Waruwu, and R. Wijaya, “Development of the real time telemonitoring system for earthquake prediction deduced from fluctuations in groundwater levels at Yogyakarta region-Indonesia,” *J. Theor. Appl. Inf. Technol.*, vol. 83, no. 1, pp. 95–99, 2016.
- [11] H. L. Firdaus, Y. F. Luckyarno, M. M. Waruwu, and R. Wijaya, “Detection System For Deterministic Earthquake Prediction Based On Radon Concentration Changes In Indonesia,” vol. 15, p. 12, 2020.
- [12] H. Cember and T. E. Johnson, *Introduction to health physics*, 4th ed. New York: McGraw-Hill Medical, 2009.
- [13] Google, “Google Maps.” Accessed: Aug. 25, 2024. [Online]. Available: <https://www.google.co.id/maps>