Pangripta Sembada : Jurnal Perencanaan Pembangunan, Vol 2 No 1, pp 33-47
ISSN: 3090-3173

RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL GEMPA *DOUBLE SENSING* ALGORITMA LOS-NLOS DI KABUPATEN SLEMAN

Dhita Pratama Putra
Universitas Ahmad Dahlan
dhitaputraa@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia terletak di Cincin Api Pasifik, yang memiliki risiko tinggi terjadinya gempa bumi. Provinsi Yogyakarta, khususnya Kabupaten Sleman, termasuk wilayah rawan gempa karena berada di titik pertemuan zona *megathrust*, sesar Opak, dan zona subduksi. Penelitian ini bertujuan menciptakan sistem kontrol gempa bumi *double sensing* berbasis IoT menggunakan algoritma LOS-NLOS untuk transmisi sinyal dan penentuan radius gempa yang terintegrasi dengan aplikasi dan situs web berbasis model *3-tier*. Sistem ini dirancang dengan menggunakan *Real Time Seismic Amplitude Measurement* (RSAM) dan *accelerometer* untuk mendeteksi jenis gempa tektonik atau vulkanik melalui nilai seismik dan pergeseran tanah, serta dilengkapi *buzzer alarm* sebagai tanda bahaya. Sistem bekerja selama 24 jam menggunakan sel surya monocrystalline berdaya 10.000 mAh dari *powerbank* dengan *step down* untuk efisiensi daya. Pengembangan sistem dilakukan dengan model R&D Borg & Gall, uji validasi dan kalibrasi menggunakan alat standar, serta pengujian aplikasi dan situs web melalui metode *System Usability Scale* (SUS). Hasil uji menunjukkan korelasi 0,9–1 dengan akurasi nilai error ± 1,035. Sistem ini mendukung tujuan SDGs Pilar 11 untuk menciptakan lingkungan aman dan berkelanjutan, serta diharapkan mampu menurunkan risiko korban jiwa akibat gempa bumi, khususnya di Kabupaten Sleman.

Kata Kunci: Double Sensing, LOS-NLOS, Gempa Bumi

ABSTRACT

Indonesia, located within the Pacific Ring of Fire, faces a high risk of earthquakes. Yogyakarta Province, particularly Sleman Regency, is a vulnerable region due to its position at the intersection of the megathrust zone, Opak fault, and subduction zone. This study aims to develop an earthquake control system with double sensing technology based on IoT, employing the LOS-NLOS algorithm for signal transmission and earthquake radius determination, integrated with a 3-tier model application and website. The system utilizes Real-Time Seismic Amplitude Measurement (RSAM) and an accelerometer to identify tectonic or volcanic earthquakes through seismic values and ground displacement. It is equipped with a buzzer alarm as an early warning device. The system operates continuously for 24 hours using a monocrystalline solar panel powered by a 10,000 mAh power bank, with a step-down converter to optimize energy consumption. The system development follows the Borg & Gall R&D model, with validation and calibration tests using standard tools, and usability testing of the application and website conducted through the System Usability Scale (SUS) method. The double sensing system demonstrated a correlation coefficient of 0.9–1, with an error margin and data deviation of ±1.035. Aligned with SDGs Goal 11, which advocates for sustainable and safe living environments, this system is expected to reduce the risk of casualties during earthquakes, particularly in Sleman Regency.

Keywords: Keywords: Double Sensing, LOS-NLOS, Earthquake

PENDAHULUAN

Bencana alam merupakan rangkaian kejadian merugikan yang disebabkan oleh aktivitas alam dan dapat terjadi secara tidak terduga di berbagai tempat (Fredy & Wahyudin, 2024). Di antara berbagai jenis bencana alam, gempa bumi menjadi salah satu yang paling sering terjadi dan sulit diprediksi. Gempa bumi terjadi akibat pelepasan energi yang terakumulasi di dalam kerak bumi, sehingga menimbulkan getaran serta pergeseran lempeng tektonik di permukaan bumi (Ariska & Wahyuddin, 2022). Dampak dari gempa bumi sering kali merusak infrastruktur, mengganggu aktivitas masyarakat, bahkan menimbulkan korban jiwa.

Berdasarkan data dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), Indonesia merupakan negara dengan tingkat kejadian gempa bumi yang tinggi. Hal ini disebabkan oleh lokasinya yang berada pada pertemuan lempeng tektonik dunia dan berada di kawasan Cincin Api Pasifik, area rawan aktivitas tektonik dan vulkanik. Pada tahun 2023 saja, tercatat sebanyak 10.789 peristiwa gempa bumi terjadi di Indonesia (Dwirain, 2024). Gempa dengan kekuatan di atas 5 Skala Richter seringkali menyebabkan kerusakan signifikan, termasuk kerusakan bangunan, tumbangnya pohon, serta gangguan terhadap fasilitas umum.

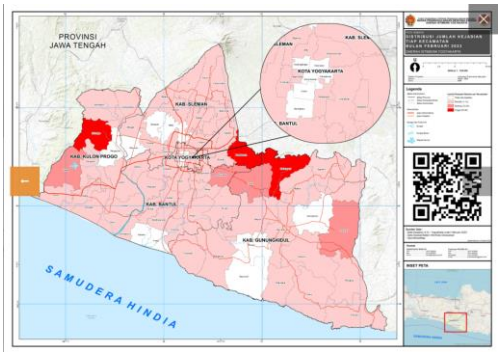
Penelitian terkait deteksi dini gempa bumi telah dilakukan sebelumnya. Penelitian terkait sistem deteksi dini gempa bumi telah dilakukan sebelumnya dengan pendekatan yang beragam. Prilandi (2024) merancang sistem pemantauan *Total Electron Content* (TEC) untuk peringatan dini gempa bumi. Sistem ini menggunakan teknologi berbasis ponsel pintar dengan konstelasi *Quasi-Zenith Satellite System* dan metode frekuensi ganda, menghasilkan prediksi yang cukup akurat terhadap empat gempa di Indonesia pada Desember 2023. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai TEC vertikal memiliki rata-rata galat absolut sebesar 3,15 TECU dibandingkan data referensi dari *International Reference Ionosphere*. Meskipun mampu memprediksi gempa, penelitian ini tidak mencakup tindakan mitigasi yang spesifik untuk mengurangi dampak gempa, seperti sistem panduan evakuasi atau alarm bahaya.

Penelitian lainnya dilakukan oleh Kurniandi *et al.* (2023), yang mengembangkan sistem deteksi getaran gempa berbasis algoritma AES-256 untuk keamanan transmisi data menggunakan perangkat LoRa. Sistem ini berhasil mengatasi kendala transmisi data jarak jauh, dengan jangkauan maksimal hingga 9,6 km pada kondisi *Line of Sight* (LOS) dan 6 km pada kondisi *Non-Line of Sight*

(NLOS). Pengujian menunjukkan bahwa prototipe ini dapat mengirim dan menerima data secara efisien, meskipun terdapat variasi nilai *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) yang dipengaruhi oleh jarak dan kondisi transmisi. Namun, penelitian ini juga terbatas pada deteksi dan transmisi data tanpa menawarkan solusi yang terintegrasi untuk mitigasi dampak gempa, seperti pengurangan risiko korban jiwa atau kerusakan infrastruktur.

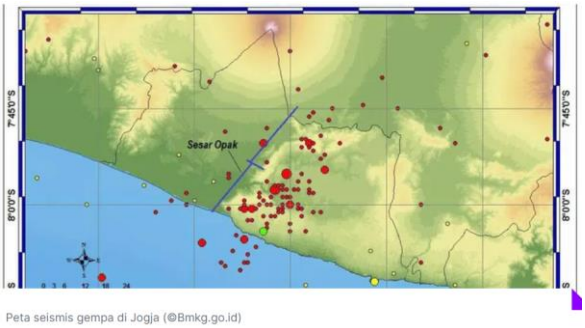
Dari kedua penelitian sebelumnya, terlihat bahwa meskipun terdapat kemajuan dalam teknologi deteksi dini gempa bumi, masih ada kesenjangan dalam hal implementasi tindakan preventif dan mitigasi untuk meminimalkan dampak bencana. Oleh karena itu, pengembangan sistem yang tidak hanya mampu memberikan data secara *real time*, namun jika dapat memberikan tindakan preventif dan mitigasi dini.

Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) merupakan salah satu wilayah dengan potensi gempa bumi yang tinggi., dengan peta sebaran bencana seperti pada Gambar 1. Menurut Direktorat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (DVMBG), Yogyakarta terletak pada pertemuan lempeng samudra dan zona subduksi, serta dipengaruhi oleh aktivitas Sesar Opak di daratan (Putra, 2023). Data dari Pusat Data Emergency Operation (PAMOR) menunjukkan bahwa Kabupaten Sleman, salah satu wilayah di Yogyakarta, telah mengalami 32 kali gempa bumi dalam rentang tahun 2019–2024, dengan banyak kerusakan yang terjadi pada fasilitas umum, seperti bangunan pasar dan rumah penduduk (Karyana, 2024).



Gambar 1. Peta Sebaran Bencana di Daerah Istimewa Yogyakarta Tahun 2023

Tingginya angka kejadian gempa di Sleman dipengaruhi oleh lokasi geografisnya yang berada di zona megathrust, Sesar Opak, dan zona subduksi (Santoso, 2024). Sebaran kawasan rawan gempa ini dapat dilihat pada Gambar 2, yang menunjukkan dampak signifikan terhadap infrastruktur dan aktivitas masyarakat.



Gambar 2. Sebaran Kawasan Rawan Gempa Bumi pada Kawasan Sesar Opak di Kabupaten Sleman dan Sekitarnya

Di era *Society 5.0*, teknologi *Internet of Things* (IoT) dan kecerdasan buatan (AI) menjadi komponen penting dalam pembangunan berkelanjutan, termasuk mitigasi bencana. Indonesia memiliki potensi besar untuk penerapan teknologi IoT, didukung oleh infrastruktur jaringan 5G dan rata-rata kecepatan internet yang mencapai 16,36 Mbps (Permana, 2019). Pemanfaatan teknologi ini telah ditargetkan untuk berbagai sektor, seperti transportasi, kesehatan, dan lingkungan, termasuk mitigasi bencana gempa bumi pada tahun 2025.

Namun, hingga saat ini, belum ada sistem kontrol gempa bumi yang terintegrasi secara menyeluruh dengan langkah preventif berbasis IoT untuk mitigasi dampak gempa. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menciptakan sistem kontrol gempa bumi dengan memanfaatkan sensor *Real Time Seismic Amplitude Measurement* (RSAM) dan sensor *accelerometer* berbasis IoT dengan algoritma *Line of Sight* (LOS) dan *Non-Line of Sight* (NLOS). Sistem ini dirancang untuk mendeteksi radius gempa bumi secara *real-time* dengan disertai alarm bahaya serta panduan evakuasi menuju lokasi titik kumpul.

Dalam implementasinya, algoritma LOS-NLOS akan digunakan untuk mendeteksi perambatan gelombang seismik *P-Waves* dan *V-Waves* melalui perhitungan titik seismik dan episentrum guna menentukan rata-rata radius gempa bumi (Aryanta, 2021). Selain itu, sistem ini juga bertindak sebagai model pemancaran dan penerimaan sinyal data secara langsung menggunakan transmisi data berbasis IoT melalui perangkat ESP32 dan LoRa dengan model akuisisi data *real time* (Priswanto, 2019). Dengan demikian, masyarakat dapat memperoleh informasi cepat dan akurat mengenai risiko gempa yang sedang berlangsung, sekaligus diarahkan menuju lokasi evakuasi yang aman melalui adanya *Global Positioning System* (GPS) (Kurniawan, 2020).

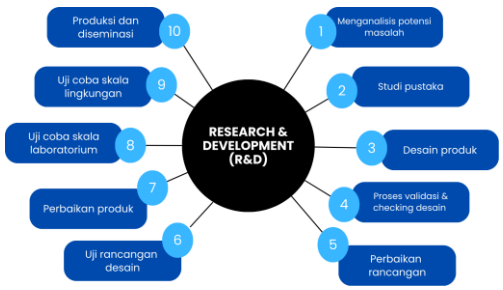
Manfaat penelitian ini tidak hanya terbatas pada upaya mitigasi dampak gempa bumi, tetapi juga memiliki dampak yang luas bagi masyarakat, pemerintah, dan sektor pendidikan melalui konsep *triple helix* pengabdian masyarakat. Melalui kolaborasi antara akademisi, pemerintah, dan dunia industri, sistem ini dapat meningkatkan efisiensi penanganan bencana dengan menyediakan data *real-time* yang membantu pemerintah dalam pengambilan keputusan cepat. Selain itu, masyarakat juga akan mendapatkan pemahaman lebih baik mengenai tindakan preventif melalui proses pencegahan sedini mungkin. Implementasi sistem ini dapat menjadi dasar untuk perencanaan

tata kota berbasis risiko bencana, sekaligus mendorong pengembangan infrastruktur digital yang lebih kokoh dan berdaya tahan terhadap ancaman bencana.

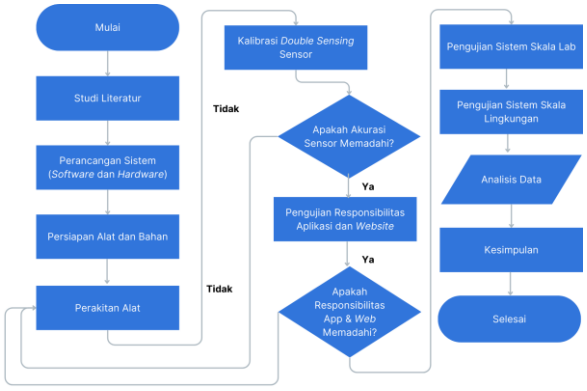
Penelitian ini diharapkan mampu memberikan manfaat nyata dalam menciptakan infrastruktur yang lebih aman, sesuai dengan tujuan *Sustainable Development Goals* (SDGs) Pilar 11, yaitu menjadikan kota dan permukiman yang aman, kondusif, dan berkelanjutan (Badan Perencanaan Nasional, 2024). Dengan adanya sistem ini, risiko korban jiwa akibat gempa bumi dapat diminimalkan, terutama di wilayah rawan seperti Kabupaten Sleman.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan metode studi pustaka dan *Research & Development* (R&D) model Borg & Gall (1983) dengan pemodelan proses penelitian dijelaskan pada Gambar 3. Pada metode ini menerapkan prinsip iterasi dan perbaikan terus menerus, supaya sistem yang dihasilkan sesuai dengan kebutuhan lingkungan dan sesuai data empiris yang ada di lapangan.

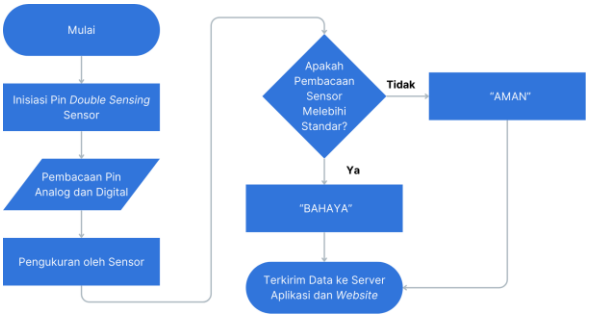


Gambar 3. Proses Penelitian Metode R&D

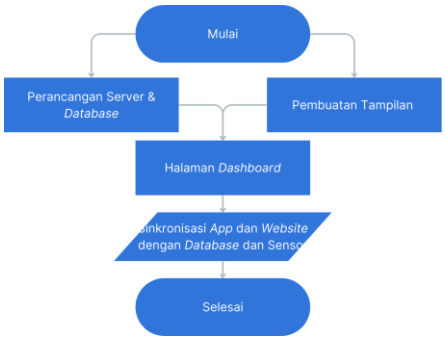


Gambar 4. *Flowchart* Proses Penelitian

Adapun proses penelitian dijelaskan pada Gambar 4. Penelitian diawali dengan studi literatur untuk mengetahui penelitian terdahulu dengan menggunakan sumber 5 tahun penelitian terbaru. Setelah melakukan studi literatur dilakukan perancangan dan pengembangan *hardware* seperti pada Gambar 5., dan *software* pada Gambar 6., dengan inovasi baru dibandingkan penelitian terdahulunya dengan konsep yang lebih baik dan kompleks.



Gambar 5. *Flowchart* Perancangan *Hardware*



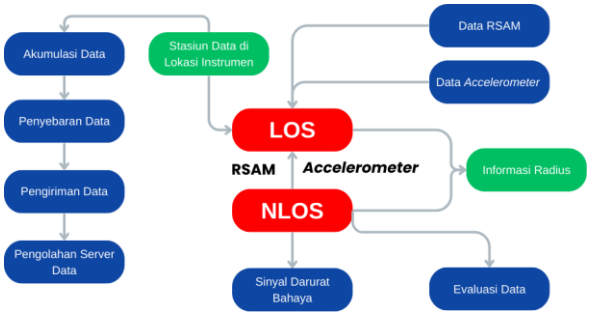
Gambar 6. *Flowchart* Perancangan *Software*

Tabel 1. Alat dalam Perancangan Sistem Kontrol Gempa

No.	Alat	No.	Alat
1	ESP 32	7	*Powerbank*
2	LoRa	8	Kotak instrumen
3	RSAM	9	*Step down*
4	*accelerometer*	10	*Buzzer alarm*
5	GPS Neo 6	11	Kabel jumper
6	Sel surya	12	*Socket* USB

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2024

Selanjutnya melakukan persiapan alat dan bahan pada Tabel 1., serta perakitan alat. Setelah alat dirakit akan dilakukan kalibrasi dan validasi pembacaan terhadap *double sensing* sensor supaya hasil pembacaan sensor sesuai dengan standar yang sudah ada dan mampu memberikan data yang valid dilanjutkan mengintegrasikan perangkat dengan aplikasi dan *website real time*, dengan pengujian responsibilitas sistem yang terdiri atas perangkat deteksi, aplikasi, dan *website* apakah dapat memberikan data secara *real time* atau terdapat jeda yang lama ketika ESP32 dan *LoRa* melakukan transmisi data, jika responsibilitas kurang maka dilakukan integrasi dan perbaikan ulang, jika responsibilitas baik dan sesuai harapan maka dilanjutkan dengan pengujian sistem dalam skala laboratorium dan lingkungan. Dilanjutkan dengan analisis data hingga diperoleh kesimpulan akhir dari penelitian. Adapun proses pengembangan algoritma LOS-NLOS divisualisasikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Proses Kerja Algoritma LOS-NLOS pada Sistem Kontrol Gempa Bumi

Pengumpulan data dilakukan secara langsung melalui proses uji validitas dan kalibrasi pembacaan *double sensing* sensor dengan alat standar ujinya sehingga diperoleh data sekunder dan data primer. Setelah data diperoleh dilakukan analisis menggunakan sistem regresi linier antara nilai pembacaan *double sensing* sensor dengan alat standar dengan output perhitungan yaitu nilai *slope*, nilai koefisien regresi dan *error*. Adapun persamaan pada regresi linier yang digunakan tertampil pada Persamaan 1.

$$y = ax + b \qquad (1)$$

Dengan,

y=Variabel dependen

a= koefisien titik potong regresi

b=Koefisien regresi yang merupakan koefisien arah regresi

x=Variabel independen

Dengan menggunakan Persamaan 2., akan diperoleh nilai a dan Persamaan 3., untuk memperoleh nilai b.

$$a = \frac{n\sum(xi\ yi) - \sum xi\ \sum yi}{n\sum xi^2 - (\sum xi)^2} \quad (2)$$

$$b = \frac{n\sum(xi\ yi) - \sum xi\ \sum yi}{n\sum xi^2 - (\sum xi)^2} \quad (3)$$

Sehingga diperoleh persamaan garis lurus pada Persamaan 4.

$$\widehat{yi} = ax_i + b \quad (4)$$

Dengan penghitungan *error* menggunakan teknik *Sum of Squared Errors* (SSE) seperti Persamaan 5.

$$SSE = \sum_{i=1}^{n} (y_i - \widehat{y}_i)^2 \quad (5)$$

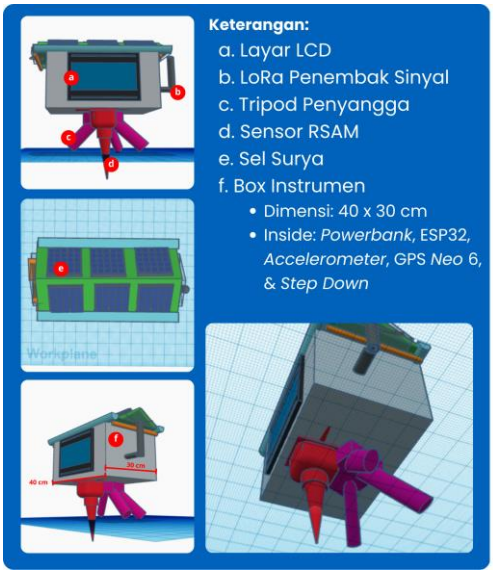
Untuk memperoleh hubungan keeratan korelasi di antara dua variabel x dan y digunakan nilai absolut dari koefisien tersebut. Nilai korelasi yang diperoleh akan bernilai 0–1. Adapun kriteria pada nilai R sebagai berikut:

a. 1,000–0,80 = Korelasi sangat kuat
b. 0,799–0,60 = Korelasi kuat
c. 0,599–0,40 = Korelasi cukup kuat
d. 0,399–0,20 = Korelasi lemah
e. 0,199–0,00 = Korelasi sangat lemah

Metode analisis data digunakan untuk menjelaskan hasil perhitungan yang diperoleh secara singkat dan jelas. Metode yang digunakan adalah analisis deskriptif, untuk menjabarkan hubungan antara variabel pada proses perhitungan. Pada metode ini dilakukan proses identifikasi data hasil perhitungan menjadi hasil analisis berdasarkan desain penelitian yang dibuat (Sari, dkk., 2020).

HASIL DAN PEMBAHASAN

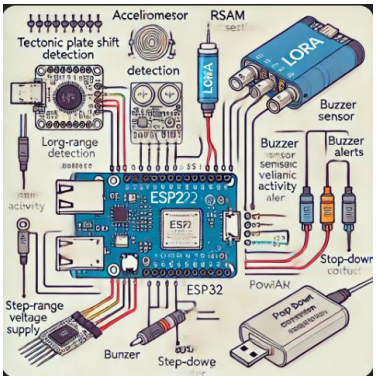
Setelah melakukan perancangan alat sistem gempa bumi *double sensing* Algoritma LOS-NLOS dengan sensor RSAM dan *accelerometer* berbasis IoT, maka alat direalisasikan seperti pada model 3D Gambar 8.



Gambar 8. Model 3D Rancangan Sistem Kontrol Gempa Bumi

Seluruh perangkat keras telah terhubung antara satu sama lain, yang terdiri atas beberapa komponen , yaitu ESP32, RSAM,

accelerometer, GPS *Neo* 6, sel surya, *powerbank, LoRa, Stepdown*, dan *buzzer alarm* . Modul sensor dan komponen dipasang pada box metal berukuran 40 cm x 30 cm, dengan model rangkaian seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Model Rangkaian Sistem Kontrol Gempa Bumi

Sensor RSAM dipasang pada bagian bawah supaya mudah dalam mendeteksi aktivitas gempa yang disebabkan pergeseran lempeng *seismic*. Sensor *accelerometer* dipasang pada bagian bawah dan di dalam tanah untuk mendeteksi adanya pergeseran tanah akibat aktivitas lempeng tektonik. GPS *Neo* 6, ESP32, *step down,* dan *powerbank* berada di dalam box instrumen untuk mencegah adanya kerusakan akibat kondisi cuaca. *Buzzer alarm* dipasang pada bagian dalam bangunan supaya tanda bahaya dari sistem kontrol gempa bumi dapat didengar oleh masyarakat yang berada di dalam bangunan. Pada bagian atas box diletakan sel surya dengan tipe *monocrystalline* yang mampu menangkap cahaya matahari lebih maksimal dan tetap bisa bekerja pada kondisi mendung maupun cuaca cerah dengan efisiensi konversi energi yang lebih tinggi dibandingkan jenis lainnya, walaupun dengan luas penampang lebih kecil. Panel surya yang digunakan dengan luas penampang 30 cm x 20 cm untuk mengisi daya *powerbank* sebesar 10.000 mAh, dengan hasil daya dan lama waktu iradiasi tertampil pada Tabel 2.

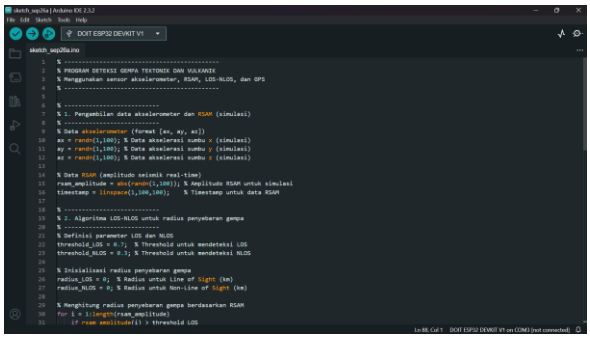
Tabel 2. Perhitungan Hasil Daya Sel

Iradiasi	**Daya (W)**	**Waktu Pengisian (Jam)**	**Daya /Hari (Wh)**	**Waktu**
Cerah	10,8	3,43	54	Per 5 Jam
Mendung	13,5	13,7	13,5	

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2024

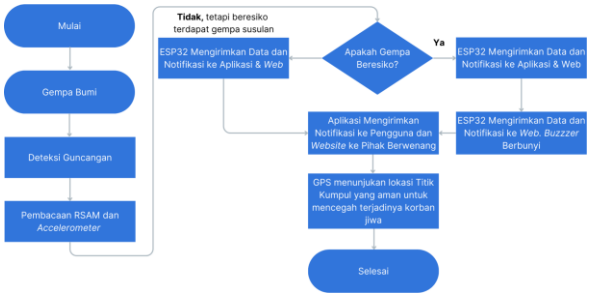
Penggunaan *step down* untuk menghemat penggunaan daya dan menurunkan nilai tegangan sebenarnya yang dibutuhkan, sehingga sistem dapat terus bekerja meskipun kondisi listrik dalam keadaan padam.

Dalam perancangan kode program sistem kontrol gempa digunakan aplikasi Arduino IDE untuk programing ESP32 dengan sensor yang digunakan, dengan kode program pada Gambar 10.



Gambar 10. Kode Program Double Sensing Algoritma LOS-NLOS pada Sistem Kontrol Gempa Bumi

Pada kode program Arduino IDE tersebut data RSAM dan *accelerometer* diambil menggunakan kode *rand()*. Algoritma LOS-NLOS digunakan untuk menghitung radius area bahaya yang berdampak gempa bumi dengan model propagasi gempa seperti permodelan kerja pada Gambar 7. Kondisi *threshold* gempa bumi disesuaikan dengan skala dan data histori gempa yang ada sebelumnya. GPS sebagai informasi lokasi bahaya gempa melalui *toolbox sensor fusion and tracking toolbox*. Dengan sistem kerja dijelaskan pada Gambar 11.



Gambar 11. *Flowchart* Cara Kerja Sistem Kontrol Gempa

Selain untuk mengukur radius gempa bumi, algoritma LOS-NLOS untuk mengetahui nilai sinyal yang diterima ketika tidak ada halangan (algoritma LOS) dan ketika sinyal menerpa halangan (algoritma NLOS), algoritma ini akan mengukur kekuatan *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) dan sudut kedatangan sinyal berupa *Time of Arrival* (TOA), digunakanya dua tipe algoritma ini supaya pengiriman sinyal dan data dari ESP32 yang berbasis IoT ke *server* dapat berjalan dengan baik ketika secara langsung maupun ketika terdapat halangan. Dengan skema pengujian menggunakan *LoRa* sebagai *transmitter* dan *receiver* sinyal dengan variasi kondisi tanpa terhalang gedung, tembok, dan pepohonan. Dengan menggunakan indikator RSSI dan TOA. Dengan hasil pengujian algoritma LOS-NLOS pada MatLab:

Persamaan garis regresi linier:
*TOA = 6,0151 * RSSI + 652,5078*
Slope Regresi Linier: 6,0151
Koefisien Korelasi (R): 0,9939
Rata-rata Error (%): 5,5990

Nilai regresi RSSI dan TOA menunjukan setiap peningkatan nilai RSSI diikuti peningkatan nilai TOA, dengan *slope* bernilai 6,0151 yang menunjukan hubungan positif antara RSSI dan TOA, dengan koefisien korelasi 0,9939 sehingga algoritma LOS-NLOS dapat menjelaskan adanya hubungan akurat antara sinyal dan waktu tiba sinyal. Rata-rata nilai *error*

diperoleh 5,5990% sehingga nilai penyimpangan ± 5,5990.

Pada pemodelan pengujian sistem *double sensing* dan sensor, dilakukan uji kalibrasi dan validitas dengan parameter pengujian pada tabel 3.

Tabel 3. Metode Pengujian

No.	Parameter	Metode/Instrumen Uji
1	RSAM	Seismometer standar
2	*Accelerometer*	*Accelerometer* Standar
3	GPS Neo 6	Google Maps
4	LoRa	LoRa *Gateway*

Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2024

Proses pengujian dilakukan 10 kali pengambilan data pada setiap uji yang dilanjutkan penghitungan regresi linier dan nilai *error* menggunakan Persamaan (1), (2), (3), (4), dan (5). Skema pengujian RSAM dengan mengukur amplitudo sinyal seismik dengan gelombang buatan. Pengujian *accelerometer* dengan membandingkan nilai getaran dari pembacaan alat standar. Skema pengujian GPS *Neo* 6 dengan memindahkan posisi GPS yang dirancang yang disandingkan dengan pembacaan oleh *Google Maps*, dan Pengujian LoRa dengan membandingkan nilai transmisi sinyal yang dihasilkan dengan hasil perhitungan data pengujian pada tabel.

Tabel 4. Hasil Uji Validitas dan Kalibrasi Sensor

Indikator	*Slope*	Korelasi	*Error* (%)
RSAM	0,94	0,99	1,94
Accelerometer	1	0.89	1,78
GPS	0,95	0,99	0,3
LoRA	0,98	0,99	0,12

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2024

Hasil uji sensor secara umum memiliki nilai kemiringan regresi linier (*slope*) pada rentang 0,9–1 yang menunjukan hubungan yang akurat antara sensor yang dirancang dengan alat uji standarnya. Nilai koefisien korelasi (R) rentang 0,89-0,99 yang menunjukan hubungan sangat kuat sehingga hal ini menunjukan pembacaan alat standar dapat diinterpretasikan dibaca dengan valid oleh sensor yang dirancang. Nilai *error* <2% hal ini menunjukan sensor yang dirancang memiliki nilai kesalahan dibawah 2% dengan *error bar* dari keseluruhan sensor bernilai 1,035, sehingga setiap titik pembacaan yang diperoleh memiliki nilai penyimpangan ± 1,035.

Tahap selanjutnya data akan dikirimkan ke sistem server melalui ESP32 dan sistem *LoRa* dengan transmisi IoT. Pengembangan *website* menggunakan teknologi *WebSocket* sehingga dapat memastikan adanya komunikasi *real time* antara perangkat, *server*, dan *database* dengan tampilan *interface website* pada Gambar 12. Sistem operasional *website* dikelola pada pihak berwenang seperti BPBD Kab. Sleman maupun Tim SAR.



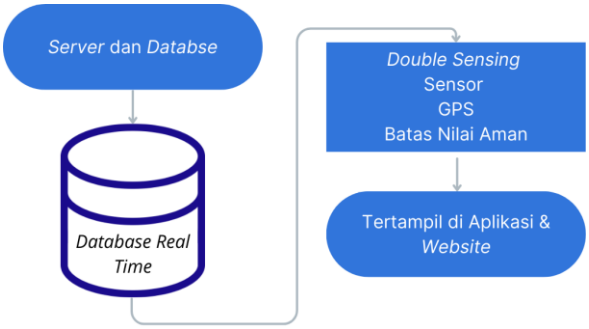
Gambar 12. *Interface Website* Sistem Kontrol Gempa Bumi

Terdapat tampilan waktu deteksi gempa yang akan selalu di update pada *database*, dengan tampilan indikator nilai guncangan gempa, radius resiko gempa, pergeseran tanah, dan jenis gempa yang terdeteksi. terdapat menu lokasi untuk mengetahui dimana gempa terjadi untuk melakukan dan mengantisipasi adanya korban jiwa maupun luka-luka pada masyarakat. *Website* dikembangkan dengan program C++ menggunakan *Visual Studio Code* berprinsip pada 3-*tier* yang terdiri presentasi informasi, pemrosesan data, dan penampilan data dari *server*. Sistem *website* akan dipantau oleh pihak berwenang untuk mengindikasi dimana lokasi gempa dan titik kumpul aman masyarakat untuk mengurangi angka korban jiwa, menu lokasi dapat digunakan untuk mengetahui lokasi dan luas radius dari gempa bumi yang terjadi. Sedangkan tanda bahaya pada masyarakat tertampil pada notifikasi pada aplikasi GEMS (*Global Earthquake Monitoring System*) dengan *interface* pada Gambar 13.



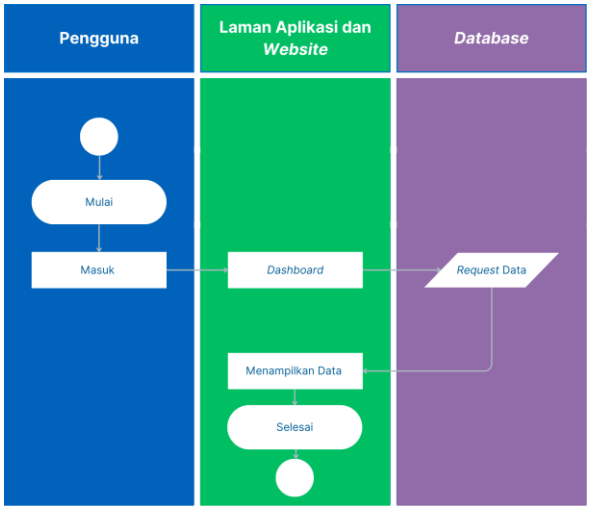
Gambar 13. *Interface* Aplikasi GEMS

Aplikasi GEMS merupakan aplikasi *mobile* yang akan digunakan oleh masyarakat dengan sistem satu *server* dan *database* bersama *website*, sehingga informasi tersampaikan dua arah ke masyarakat dan ke pihak berwenang. Pada *landing page* akan muncul logo, dilanjutkan dengan *dashboard* pembacaan data gempa, serta terdapat rekap data yang selalu diperbarui. Fitur panggilan darurat akan terkoneksi dengan pihak berwenang supaya dapat dilakukan tanggap darurat untuk mencegah terjadinya korban jiwa dan luka-luka. Ketika muncul notifikasi bahaya gempa pada *smartphone* maka alarm gedung akan berbunyi yang menandakan bahwa masyarakat harus berlindung di titik kumpul yang sesuai arahan yang ada pada aplikasi GEMS.



Gambar 14. Sistem *Server* dan *Database* pada Sistem Kontrol Gempa

Adapun pemodelan *server* dan *database* aplikasi GEMS dan *website* seperti Gambar 14., sistem *server* dan *database* akan mengirimkan data *realtime* yang diminta untuk dikirimkan ke pengguna. Dengan diagram *activity* pada Gambar 14.



Gambar 15. Diagram *Activity* Aplikasi dan *Website* Sistem Kontrol Gempa

Pengujian aplikasi GEMS dan *website* menggunakan pemodelan *System Usability Scale* (SUS) dengan menyebarkan angket melalui *Google Form* untuk mengetahui tingkat kegunaan aplikasi GEMS dan *website*. Dengan adanya uji SUS dapat digunakan sebagai landasan dalam proses perbaikan *User Interface/User Experience* (UI/UX). Dengan nilai skor SUS pada 77,2–78,8; rentang persentil 80–84; dengan interpretasi baik sekali.

Pengujian secara keseluruhan sistem dilakukan dengan skenario gempa buatan melalui meja guncang sederhana untuk mengetahui seberapa lama transmisi data dan responsibilitas pengiriman data dari server dan database menuju aplikasi GEMS dan website. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas dan kecepatan komunikasi sistem dalam situasi darurat gempa bumi. Dalam pengujian ini, data yang dihasilkan oleh sensor dikirimkan ke server dan diproses secara real-time untuk ditampilkan pada aplikasi dan website GEMS, serta memberikan notifikasi bahaya kepada pengguna. Waktu transmisi data dan respons terhadap perubahan sinyal akan dianalisis untuk memastikan sistem dapat berfungsi secara efektif dalam situasi darurat.

Temuan penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Prilandi (2024), yang juga menguji sistem deteksi dini gempa bumi menggunakan sensor RSAM dan accelerometer berbasis IoT. Namun, perbedaan signifikan terletak pada penggabungan algoritma LOS-NLOS dalam penelitian ini, yang memungkinkan deteksi dan pemrosesan sinyal gempa secara lebih akurat, bahkan dalam kondisi terhalang oleh bangunan atau objek lainnya. Penggunaan dua algoritma ini memberikan keuntungan dalam memastikan data transmisi tetap stabil dan terdeteksi dengan baik, baik dalam kondisi *Line of Sight* (LOS) maupun *Non Line of Sight*

(NLOS), yang tidak dimiliki oleh penelitian sebelumnya.

Selain itu, perbandingan dengan penelitian Kurniandi et al. (2023) yang menggunakan algoritma AES-256 dan teknologi LoRa menunjukkan bahwa meskipun kedua penelitian ini menggunakan LoRa sebagai transmisi data, penelitian ini menambahkan elemen penting dalam hal pengintegrasian algoritma LOS-NLOS yang memungkinkan pengiriman sinyal meskipun terdapat halangan fisik. Temuan ini menjadikan sistem yang dirancang dalam penelitian ini lebih unggul dalam hal fleksibilitas pengiriman data dan akurasi pemrosesan sinyal dalam berbagai kondisi. Dari hasil pengujian yang dilakukan dengan menggunakan skenario gempa buatan dan meja guncang sederhana, sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini menunjukkan keunggulan dalam hal kecepatan transmisi dan respons sistem dibandingkan dengan penelitian terdahulu. Hal ini terbukti dengan nilai *error* yang lebih rendah (±5,6%) pada pengujian menggunakan algoritma LOS-NLOS, yang menunjukkan akurasi dan kestabilan sistem dalam pengiriman data meskipun terdapat gangguan. Dengan demikian, sistem kontrol gempa bumi berbasis IoT yang dirancang dalam penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam mitigasi bencana dan memberikan waktu yang cukup untuk tindakan preventif yang lebih efektif.

KESIMPULAN DAN SARAN

Perancangan sistem kontrol gempa bumi dengan algoritma LOS-NLOS di Kabupaten Sleman, berbasis IoT terintegrasi aplikasi dan *website realtime* dapat direalisasikan dengan menggunakan metode R & D pengembangan Borg & Gall, melalui kerjasama dengan mitra pemerintah, mitra universitas, dan Dunia Usaha/Dunia Industri (DU/DI). Validasi dengan standar dilakukan dengan menggunakan regresi linier dengan nilai *slope* 0,9–1, dengan koefisien korelasi (R) pada rentang 0,89–0,99 yang menunjukan hubungan erat antara sistem yang dirancang dengan alat standar ujinya, sehingga menunjukan sistem kontrol gempa dapat digunakan. Nilai algoritma LOS-NLOS memiliki korelasi 0,9939 dan mampu memancarkan pengolahan sinyal radius luas kejadian gempa bumi. Pengembangan aplikasi GEMS dan *website realtime* dapat dilakukan dengan pemodelan 3-*tier* dengan uji SUS pada rentang sangat baik.

Sebagai penelitian kedepannya, diperlukan adanya konektivitas yang lebih luas dan diintegrasikan dengan pemodelan bangunan tahan gempa, serta adanya *drone* pendeteksi manusia melalui sistem *near infrared* untuk mendeteksi keberadaan manusia jika terjadi

reruntuhan bangunan ketika *pasca* kejadian gempa bumi. Diperlukan pola pengembangan dalam pemasangan RSAM di sekitar gunung berapi aktif untuk deteksi lebih dini terkait aktivitas seismik gunung berapi yang berpeluang menyebabkan gempa vulkanik. Dalam pengembangan selanjutnya aplikasi dan *website* dapat dikembangkan lebih kompleks dan lebih *user friendly*.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada para tenaga kependidikan Program Studi Fisika, Universitas Ahmad Dahlan yang membantu dalam perancangan dasar sistem seismik dan pergeseran tanah. Terima kasih kepada PAMOR DIY, PUSDALOP DIY, dan BNPB DIY yang telah menyediakan data primer dan sekunder dalam proses penelitian sistem kontrol gempa bumi. Tidak terlupa ucapan terima kasih kepada Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Kabupaten Sleman yang telah menginisiasi adanya prosiding pembangunan daerah Kabupaten Sleman.

DAFTAR PUSTAKA

Ariska., & Wahyuddin. 2022. Penerapan Kriptografi Menggunakan Algoritma DES (Data Encryption Standard). *Jurnal Sintaks Logika*, *2*(2).

Aryanta, Dwi. 2021. Analisis Prediksi Path Loss Teknologi Seluler 5G pada Sel Micro Urban Wilayah Kota Bandung. *ELKOMIKA, 9* (3).

Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. 2024. *Tentang gempa Bumi*. Diakses tanggal 27 September 2024, dari http://inatews2.bmkg.go.id/new/tentang_eq.php

Badan Perencanaan Nasional. 2024. SDGs Knowledge Hub. Diakses pada 25 September 2024, dari https://sdgs.bappenas.go.id/

Borg, W. R. and M. D. Gall. 1989. Educational Research: An Introduction. Fifth Edition. New York and London: Longman.

Dwirain. 2024. Sepanjang 2023 terjadi 10.789 Kali gempa Bumi. Diakses pada 24 September 2024, dari https://triggernetmedia.com/2024/01/01/sepanjang-2023-terjadi-10-789-kali-gempa-bumi/

Fredy, & Wahyuddin. 2024. Aplikasi Game Edukasi Mitigasi Bencana Alam (Gempa Bumi dan Tsunami) Menggunakan Metode Waterfall Berbasis Android. *JURNAL SINTAKS LOGIKSA*, *4*(1).

Karyana, Yana. Analisis Geologi Kejadian Gempa Bumi Merusak di Perairan Selatan Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, Tanggal 26 Agustus 2024. Diakses pada 23 September 2024, dari https://vsi.esdm.go.id/kajian-kejadian/analisis-geologi-kejadian-gempa-bumi-merusak-di-perairan-selatan-provinsi-daerah-istimewa-yogyakarta-tanggal-26-agustus-2024

Kurniandi, Rizki., Marlena, Desi., & Aryani, Dian. Implementasi Algoritem AES-256 pada Sistem Pemantauan Getaran Bumi Menggunakan Perangkat LoRa. *Jurnal Info kripto, (17)*2.

Kurniawan, Adi., Wishnuadji, TW., Nrendro, Arsanto., & Ali. 2020. Sistem Deteksi Lokasi Gempa Menggunakan Arduino Mega 2560, Sensor SW-420, GPS, dan

Notifikasi SMS. *JURNAL BIT*, *17* (1).

Permana, Adi. 2019. Menilik Perkembangan IoT di Indonesia. Diakses pada 24 September 2024, dari https://www.itb.ac.id/berita/menilik-perkembangan-iot-di-indonesia/57158

Pusat Data Emergency Operation (PAMOR DIY). 2023. Sebaran Wilayah Bencana DIY 2-23. Diakses pada 25 September 2024, dari https://pamor.jogjaprov.go.id/infografis

Pusat Data Emergency Operation (PAMOR DIY). 2024. Data Kejadian Gempa Bumi di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Diakses pada 25 September 2024, dari https://pamor.jogjaprov.go.id/data_kejadian

Prilandi, Gazza. 2024. *Rancang Bangun Sistem Pemantauan Total Electron Content untuk Sistem Peringatan Dini Gempa Bumi*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.

Priswanto, Amry. 2019. *rancang Bangun Sistem Akuisisi Data Berbasis IoT untuk Pemantauan Seismisitasi Gunung Berapi Secara Real-Time dari Jarak Jauh*. Malang: Universitas Brawijaya

Putra, Dwi. 2023. Ancaman Sesar Opak di DIY: kepala BMKG Mitigasi Harus terus Dilakukan, Jangan Terputus!. Diakses pada 25 September 2024, dari https://www.bmkg.go.id/berita/?p=ancaman-sesar-opak-di-diy-kepala-bmkg-mitigasi-harus-terus-dilakukan-jangan-teputus-2&lang=ID&tag=press-release

Santoso, Gentur. 2024. Sumber Gempa Bumi Zona Penujam. Diakses pada 24 September 2024, dari https://vsi.esdm.go.id/press-release/sumber-gempa-bumi-zona-penunjam-megathrust

Supendi P, Jatnika J, Sianipar D, Ali YH. *Analisis Gempa Bumi Cianjur Mw 5* . Diakses tanggal 25 September 2024, dari https://prosesweb.bmkg.go.id/wp-content/uploads/Analisis-gempabumi-Cianjur_Supendi-dkk.-2022_rev-1.pdf

Sari, Vivin Kartika., dkk. 2020. Model Sistem Monitoring Kebakaran Hutan Berbasis LoRa dengan Menggunakan Arduino. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa*, 12 (2).