

Sistem Peringatan Dini Gempa Bumi Multi Node Sensor Berbasis Fuzzy Dan Komunikasi IoT

Muhammad Aditya Tisnadinata ^{#1}, Novian Anggis Suwastika ^{*2}, Rahmat Yasirandi ^{#3}

[#] *Fakultas Informatika, Universitas Telkom Bandung, Indonesia*

¹ tisnadinata@gmail.com

² anggis@telkomuniversity.ac.id

³ batanganhitam@telkomuniversity.ac.id

Abstract

Earthquake detection can be measured by calculating the acceleration of movement or vibration horizontally and vertically, the existence of P (Prime) waves and S (Secondary) waves are indicative of an earthquake. One of the factors that can be used in detecting and calculating the strength of an earthquake is by calculating the acceleration of vibrations that occur horizontally in the P wave. By utilizing it, it can be seen the magnitude of the earthquake that occurred and can provide a warning as quickly as possible to the community. The technology of Internet of Things(IoT) allows the system to be able to read data automatically and continuously without having to involve many people. In conducting earthquake classifications this system uses the algorithm Fuzzy Logic which has the characteristics of being able to process information quickly with low complexity so that the system can provide a warning as quickly as possible. In system data validation uses several levels of validation consisting of device servers and main servers with different functions and objectives. The results of this study in 1000 trials, the system can carry out the validation and classification process with the average speed produced is 10-15 seconds for one data processing with the level of suitability of the final results on the scale of SIG BMKG around 81.8% average.

Keywords: earthquake, earthquake detection, early warning system, internet of things, fuzzy logic.

Abstrak

Deteksi gempa bumi dapat diukur dengan menghitung percepatan gerakan atau getaran secara horizontal dan vertikal, adanya Gelombang P (Primer) dan Gelombang S (Sekunder) menjadi indikasi akan terjadinya gempa bumi. Salah satu faktor yang dapat digunakan dalam mendeteksi dan menghitung kekuatan gempa bumi adalah dengan menghitung percepatan getaran yang terjadi secara horizontal dalam Gelombang P. Dengan memanfaatkan hal itu dapat diketahui besaran gempa yang terjadi dan dapat memberikan peringatan secepat mungkin pada masyarakat. Teknologi *Internet of Things*(IoT) memungkinkan sistem untuk dapat membaca data dengan secara otomatis dan terus menerus tanpa perlu banyak melibatkan manusia. Dalam melakukan klasifikasi gempa bumi sistem ini menggunakan algoritma *Fuzzy Logic* yang memiliki karakteristik dapat mengolah informasi dengan cepat dengan kompleksitas rendah sehingga sistem dapat memberikan peringatan secepat mungkin. Dalam validasi data sistem menggunakan beberapa tingkat validasi yang terdiri dari server perangkat dan server utama dengan fungsi yang berbeda. Hasil daripada penelitian ini dalam 1000 kali percobaan, sistem dapat melakukan proses validasi dan klasifikasi dengan rata-rata kecepatan yang dihasilkan adalah 10 - 15 detik dalam satu kali proses pengolahan data dengan tingkat akurasi hasil akhir dalam bentuk skala SIG BMKG dengan rata-rata 81.8%.

Kata Kunci: deteksi gempa, gempa bumi, *internet of things*, *early warning system*, *fuzzy logic*.

I. PENDAHULUAN

INDONESIA merupakan salah satu dari 10 negara dengan potensi terjadinya gempa bumi tertinggi di dunia, penyebab Indonesia rawan gempa karena banyak memiliki gunung api tidak hanya dari Cincin Api Pasifik. Masih ada Sabuk Alpide yang merupakan jalur gempa paling aktif nomor dua di dunia, yang turut menyumbang faktor rentan gempa bumi di Indonesia. Selain itu, ada juga tumbukan tiga lempeng benua, yaitu lempeng Indo-Australia dari selatan, Eurasia dari utara, dan Pasifik dari Timur yang menambah keramahan struktur geologi di wilayah negeri ini [11] [17] [12]. Maka dari itu kebutuhan informasi terjadinya gempa bumi dengan cepat dan tepat sangat dibutuhkan agar dapat meminimalisir dampak yang terjadi terutama korban jiwa, namun saat ini informasi tersebut masih kurang [5].

Sebelum terjadinya gempa besar biasanya didahului dengan gelombang kecil yang disebut Gelombang Primer dan Gelombang Sekunder atau yang sering disebut Gelombang P dan Gelombang S. Gelombang S bergerak secara tegak lurus dengan rambat gelombang sedangkan Gelombang P bergerak searah dengan rambatan gelombang. Gelombang P menghasilkan perubahan percepatan pada sumbu X dan Y yang memungkinkan dapat dideteksi sebelum terjadinya gempa besar, dengan memanfaatkan perubahan percepatan tersebut sistem akan melakukan validasi dan klasifikasi kekuatan dan kategori gempa [5].

Pada beberapa penelitian mengenai deteksi gempa bumi yang telah dilakukan sebelumnya [16] [2] [6] [13] [7], kekuatan gempa bumi dapat terdeteksi dengan baik namun kemungkinan terjadinya *fake alarm* masih cukup tinggi karena hanya menggunakan satu tingkat validasi saja yang sebagian besar terdapat pada perangkat sensor. Maka dari itu sistem yang dibuat ini menggunakan validasi bertingkat yang di mana dapat mengurangi kemungkinan *fake alarm*.

Berdasarkan masalah tersebut sistem ini menggunakan *multi node sensor* pada sistem peringatan gempa bumi berbasis *IoT* sehingga dapat mendapatkan validasi data yang lebih baik dan mengurangi interaksi manusia [10]. Berdasarkan dari tiga penelitian yang memanfaatkan teknologi serupa [1] [15] [18], sistem ini menggunakan metode algoritma *Fuzzy Logic* untuk melakukan klasifikasi kekuatan gempa karena memiliki karakteristik dapat mengolah informasi secara cepat dan menggunakan protokol HTTP untuk komunikasi karena generic dan *stateless* sehingga lebih mudah digunakan [8] [3].

Pada sistem ini terdapat tiga tingkat validasi dan klasifikasi, yang pertama terdapat pada perangkat atau node yang akan menentukan perlu tidaknya sinyal gempa dikirim ke server berdasarkan kekuatan gempa dengan ketentuan jika kekuatan yang terbaca oleh perangkat melebihi 3 skala richter maka data akan dikirim ke server perangkat, yang kedua pada server perangkat dengan melakukan validasi apakah sinyal gempa yang dikirimkan perangkat merupakan *fake alarm* atau bukan dengan menghitung presentase pengiriman dan kategori kekuatan gempa yang terbaca oleh perangkat. Tahap ketiga pada server utama dengan melakukan validasi sinyal dan pengelompokan dari masing-masing server perangkat yang mengirimkan data ke server utama, kemudian hasil akhir akan ditampilkan kategori kekuatannya gempa dalam bentuk Skala SIG BMKG.

II. PENELITIAN TERKAIT

A. *Earthquake Early Warning System by IOT using Wireless Sensor Networks*

Pada penelitian ini yang penulis tersebut lakukan yaitu membuat sistem sensor gempa bumi menggunakan jaringan sensor nirkabel [1]. Pada sistem tersebut sensor diletakkan pada permukaan bumi. Saat gempa bumi terjadi, terdapat gelombang P dan gelombang S yang menjalar. Gelombang P atau gelombang primer adalah gelombang yang datang lebih dahulu dan terdeteksi oleh sensor. Gelombang P merupakan gelombang yang bergerak lebih cepat namun guncangan yang dihasilkan pada permukaan bumi lemah. Gelombang S atau gelombang sekunder merupakan gelombang paling kuat dan memberikan getaran yang lebih besar pada permukaan bumi namun bergerak lebih lambat. Saat sensor mendeteksi gelombang P, sistem akan langsung mengirimkan sinyal peringatan. Akselerometer adalah sensor yang digunakan untuk mendeteksi getaran tanah dan mengirimkan sinyal pada mikrokontroler.

B. Earthquake Monitoring and Warning System

Dalam penelitian ini menghasilkan sistem pemantauan dan peringatan gempa bumi [15]. Sensor pertama adalah piezoelectric yang digunakan untuk memicu masing-masing node mengirimkan data pergerakan tanah dari akselerometer ADXL-345 dan dari piezoelektrik ke koordinator. Data yang diterima koordinator langsung dikirimkan ke komputer menggunakan komunikasi serial. Data akan diolah menggunakan LABVIEW, jika terindikasi gempa bumi, sms peringatan akan langsung dikirim ke penerima akhir menggunakan modul GSM. Piezoelektrik digunakan untuk memicu node mengirimkan sinyal saat terjadi gempa yang membuat konsumsi daya pada perangkat lebih hemat. Sinyal yang dikirimkan ke koordinator berupa percepatan pergerakan tanah dari akselerometer dan piezoelektrik serta nama node yang mengirimkan sinyal. Tujuan utama pada proyek ini adalah untuk mendeteksi gelombang P yang terdeteksi pada sumbu x dan y. Pada sumbu XY, nilai sumbu Z konstan sehingga tidak perlu dimasukkan ke dalam perhitungan. Nilai percepatan magnitude MR dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

$$MR = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (1)$$

x = nilai yang terbaca pada sumbu x

y = nilai yang terbaca pada sumbu y

MR = besarnya percepatan

Tabel I
HUBUNGAN ANTARA MAGNITUDE SKALA RITCHTER DENGAN PERCEPATAN

No	Rentang Percepatan	Skala Richter	Kategori Gempa
1	< 0.017	< 1.99	Tidak Terasa
2	0.017 – 0.14	2 - 3	Minor
3	0.14 – 0.39	4	Gempa Ringan
4	0.39 – 0.92	5	Gempa Sedang
5	0.92 – 1.8	6	Gempa Kuat
6	1.8 – 3.4	7	Gempa Mayor
7	≥ 3.4	≥ 8	Gempa Besar

Dengan melihat Tabel I rentang percepatan dapat dikonversi menjadi kategori gempa yang dapat ditentukan melalui besarnya skala richter yang dihasilkan sehingga dapat lebih mudah dipahami dan ditentukan dampaknya [9].

C. Design of Real Time Sensor System for Detection and Processing of Seismic Waves for Earthquake Early Warning System

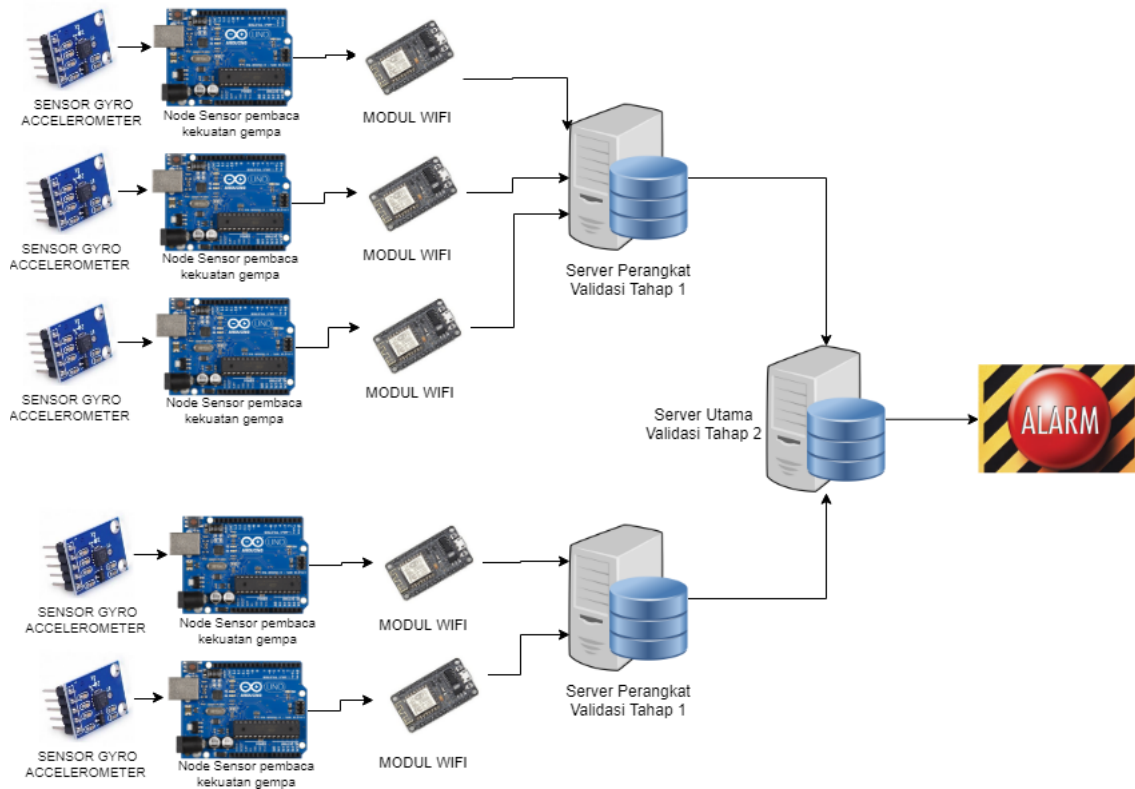
Pada penelitian ini dibuat pendeteksi gelombang seismik [18]. Metode yang digunakan dalam menentukan lokasi gempa yaitu dengan sudut azimuth. Pada sistem ini menggunakan akselerometer, digital bandpass filter, sebuah mikrokontroler, modul GPS dan Modul GSM. Akselerometer digunakan untuk mengubah getaran bumi menjadi sinyal elektrik. dalam penerimaan sinyal terdapat kemungkinan adanya noise, sehingga bandpass filter orde 2 digunakan untuk membatasi sinyal frekuensi sebesar 0.1Hz sampai 30Hz. Sinyal digital kemudian diproses menggunakan mikrokontroler untuk memeriksa apakah itu gelombang P atau gelombang S. Jika gelombang P yang terdeteksi maka parameter yang digunakan berdasarkan gelombang P. Data yang dikirim berupa waktu deteksi gelombang P dan S, dua sudut azimuth, magnitude gempa bumi, dan lokasi gempa menggunakan GPS. Pusat pengendali juga akan menerima data yang sama dari sensor lain yang disimpan pada lokasi berbeda.

Sistem ini menggunakan referensi utama pada penelitian kedua [15] dengan menggunakan Rumus 1 sebagai rumus utama dalam perhitungan kekuatan gempa dan perbandingan rentang percepatan dengan skala richter yang digunakan pada Tabel I yang disesuaikan dengan nilai dari sensor getaran yang digunakan pada saat pengujian.

III. PERANCANGAN SISTEM

A. Desain Arsitektur Sistem

Desain arsitektur pada sistem ini terdiri dari empat bagian utama yaitu perangkat atau *node sensor*, server perangkat, server utama dan *early warning tools* atau perangkat peringatan yang dapat dilihat pada Gambar 1.



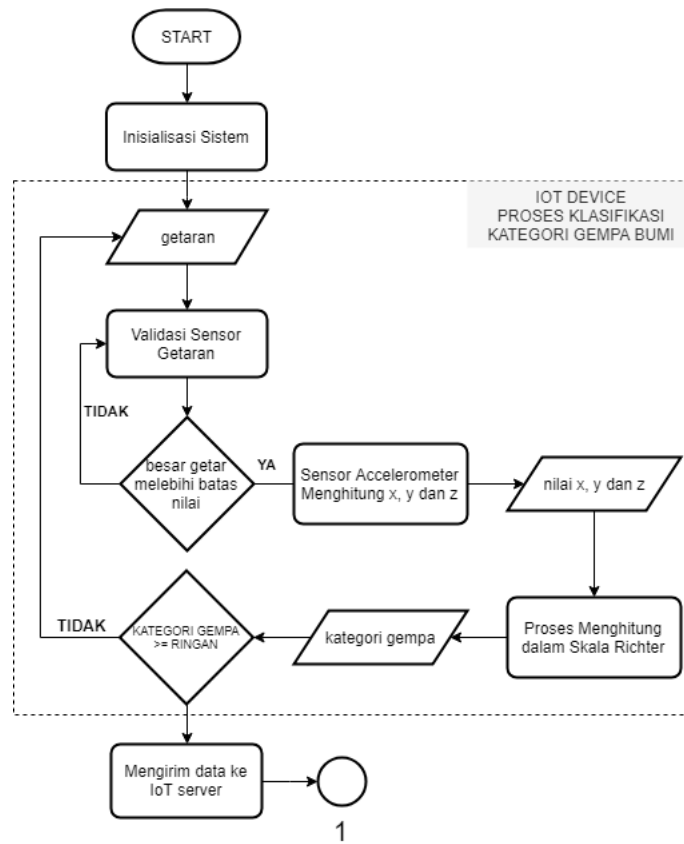
Gambar 1. Desain Arsitektur Sistem

Berdasarkan Gambar 1 sistem dibagi menjadi beberapa bagian, pada bagian perangkat atau *node sensor* berfungsi sebagai pembaca dan pengolah nilai percepatan getaran berdasarkan sumbu X dan Y hingga menjadi nilai skala richter. Pada bagian server perangkat berfungsi untuk menerima data dari *node sensor* yang di proses lebih lanjut menjadi kategori gempa dan kategori presentase sinyal gempa, jika kedua kategori tersebut memenuhi syarat maka akan diteruskan ke server utama pada bagian 3.

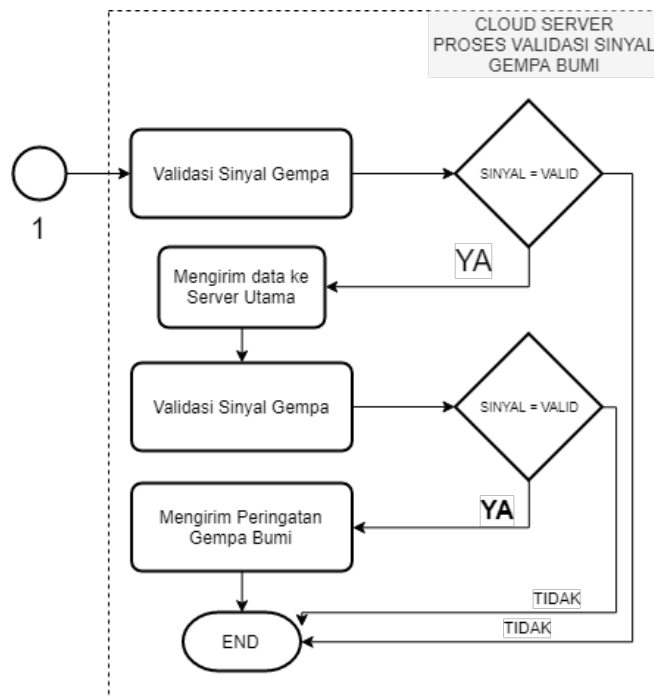
B. Diagram Alur Sistem

Pada sistem peringatan gempa bumi ini perlu adanya alur informasi dan proses yang dijalankan agar dapat berjalan dengan baik, diagram alur sistem dapat dilihat pada Gambar 2. Pada Gambar 2, terdapat proses validasi nilai getaran yang digunakan untuk menentukan apakah getaran yang dideteksi valid atau tidak dengan ketentuan jika besar nilai analog dari getaran yang dibaca oleh sensor getaran melebihi batas nilai normal maka data getaran akan dianggap valid dan akan dilanjutkan dengan membaca nilai axis x dan y oleh sensor accelerometer, namun jika getaran dinyatakan tidak valid maka sistem akan kembali ke proses membaca nilai getaran. Kemudian, dalam proses menghitung besar nilai skala richter sistem menggunakan Rumus 1 sebagai rujukan dalam menghitung nilai skala richter.

Pada Gambar 3, menjelaskan mengenai alur sistem yang meliputi server perangkat dan server utama. Pada alur ini terdapat proses validasi sinyal gempa yang ditujukan untuk mengetahui keabsahan data yang dikirim dari perangkat. Validasi dilakukan dengan menghitung besar presentase jumlah perangkat



Gambar 2. Desain Diagram Alur Sistem Pada Perangkat



Gambar 3. Desain Diagram Alur Sistem Pada Server

yang mengirim sinyal terjadinya gempa. Jika presentase sinyal berada diatas batas nilai minimum yang ditentukan maka sinyal gempa dinyatakan valid dan sistem akan melanjutkan proses selanjutnya, sedangkan jika berada dibawah batas minimum maka sinyal gempa dinyatakan tidak valid dan sistem akan menghentikan proses yang ada dan tidak akan melakukan apa-apa.

C. Tabel Konversi Nilai X dan Y

Sistem ini menggunakan parameter nilai axis X dan Y pada sensor untuk menghitung nilai besarnya percepatan menggunakan Rumus 1, nilai besar percepatan kemudian dapat di konversikan ke dalam satuan skala richter dengan merujuk pada Tabel II.

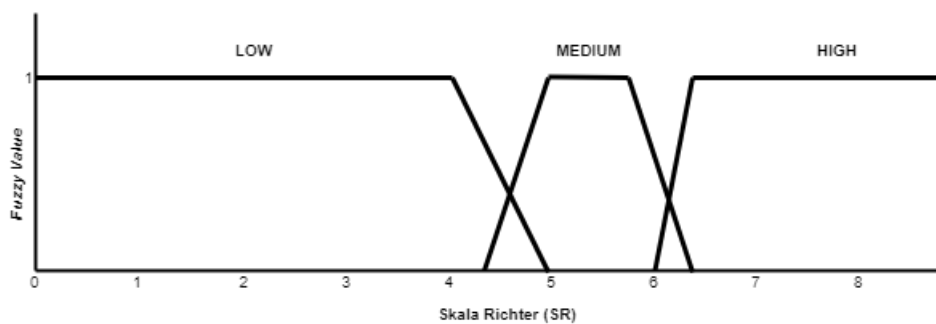
Tabel II
KONVERSI NILAI BESAR PERCEPATAN KE SATUAN SKALA RICHTER

No	Rentang Percepatan	Skala Richter
1	< 1.9316	0 – 2.9
2	1.9316 – 5.4537	3 – 3.9
3	5.4537 – 10.0940	4 – 4.9
4	10.0940 – 28.1190	5 – 5.9
5	28.1190 – 66.3320	6 – 6.9
6	66.3320 – 129.7800	7 – 7.9
7	≥ 129.7800	≥ 8

Nilai konversi pada Tabel II didapatkan membandingkan data pada Tabel I dengan hasil sesungguhnya dari pengujian perangkat pada mesin simulasi gempa bumi di Museum Geologi Bandung, sehingga dilakukan penyesuaian kembali agar dapat menghasilkan data yang lebih baik lagi saat pengujian selanjutnya.

D. Desain Aturan Fuzzy

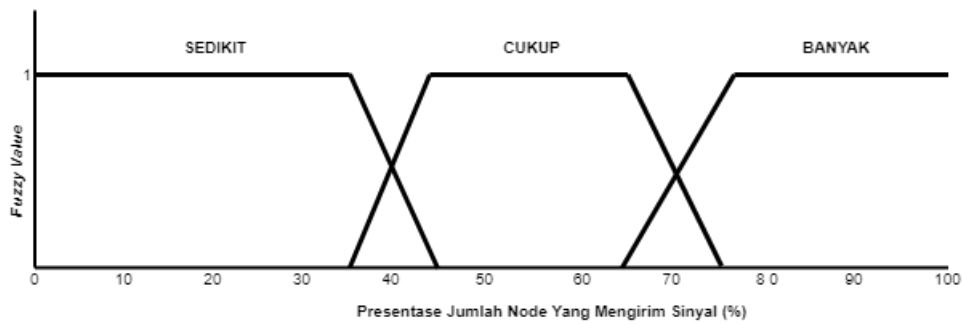
Sistem ini menggunakan parameter besar kekuatan gempa dalam satuan skala richter yang dikirimkan oleh perangkat, nilai tersebut akan diubah menjadi 3 kategori yaitu *low*, *medium* dan *high* berdasarkan aturan fuzzy yang dibuat berdasarkan nilai konversi dari Tabel II yang dapat dilihat seperti pada Gambar 4 dan algoritma yang digunakan dapat dilihat pada bagian Algorithm 1.



Gambar 4. Aturan Fuzzy Konversi Skala Richter ke Dalam Nilai Fuzzy

Desain aturan fuzzy pada Gambar 4 dibuat berdasarkan pada dampak yang dihasilkan dari besarnya kekuatan gempa [4]. Setelah itu akan dilakukan validasi dan klasifikasi berdasarkan sinyal gempa bumi yang dikirimkan oleh setiap perangkat, proses ini bertujuan untuk mencari jumlah peresentasi perangkat yang mendeteksi gempa bumi. Sinyal yang diterima akan di klasifikasikan menjadi 3 kategori yaitu **sedikit**, **cukup** dan **banyak** dengan aturan fuzzy seperti pada Gambar 5.

Kategori presentase sinyal pada Gambar 5 ditentukan dengan menghitung perbandingan jumlah node yang digunakan dengan kemungkinan terjadinya kesalahan teknis pada alat.



Gambar 5. Aturan Fuzzy Konversi Presentase Sinyal ke Dalam Nilai Fuzzy

E. Tabel Keanggotaan

Nilai keluaran dari kedua proses klasifikasi pada perangkat dan server akan dimasukkan ke dalam tabel keanggotaan yang untuk menentukan apakah sinyal yang dikirimkan merupakan *fake alarm* atau bukan dan apakah perlu diteruskan ke *Warning Tools* selanjutnya.

Tabel III
TABEL KEANGGOTAAN

SINYAL \ KEKUATAN	LOW	MEDIUM	HIGH
SEDIKIT	false	false	false
CUKUP	false	true	true
BANYAK	true	true	true

Jika keluaran yang diterima dari proses pada Tabel III adalah *true* maka akan dikirimkan notifikasi dan peringatan gempa bumi, jika *false* maka akan terdeteksi sebagai *fake alarm* dan tidak diteruskan.

F. Tabel Konversi Skala SIG BMKG

Pada proses akhir sistem akan memberikan perkiraan kategori gempa dalam bentuk Skala SIG BMKG berdasarkan pada nilai skala richter yang diterima oleh sistem, nilai skala richter akan dikonversi kedalam satuan MMI kemudian dikonversi kembali kedalam bentuk Skala SIG BMKG [14] [4], tabel konversi dapat dilihat pada Tabel IV.

Tabel IV
TABEL KONVERSI SKALA SIG BMKG

Nilai Skala Richter	Skala SIG BMKG
≤ 2.2	0 – I
2.2 – 4.1	3 – II
4.1 – 4.6	4 – III
4.6 – 5.9	5 – IV
≥ 5.9	V

G. Desain Algoritma

Berikut adalah tahapan dan algoritma yang digunakan dalam menentukan nilai fuzzy dan nilai akhir dari sistem.

Tahapan Pertama adalah menentukan nilai fuzzy dari kekuatan gempa yang sebelumnya berupa nilai dalam satuan skala richter menjadi nilai fuzzy berdasarkan pada Gambar 4. Algoritma pada tahap ini dapat dilihat pada Algorithm 1.

```
Result: Nilai Fuzzy untuk skala richter  
SR = nilai skala richter dari perangkat;  
if  $SR \leq 4.0$  then  
| return LOW;  
else if  $SR \geq 4.0$  AND  $SR \leq 5.0$  then  
| probabilitasLow =  $(5.0 - SR) / (5.0 - 4.0)$ ;  
| probabilitasMedium =  $(SR - 4.0) / (5.0 - 4.0)$ ;  
| if  $probabilitasLow \leq probabilitasMedium$  then  
| | return LOW;  
| else  
| | return MEDIUM;  
| end  
else if  $SR \geq 5.0$  AND  $SR \leq 5.8$  then  
| return MEDIUM;  
else if  $SR \geq 5.8$  AND  $SR \leq 6.2$  then  
| probabilitasMedium =  $(SR - 5.8) / (6.2 - 5.8)$ ;  
| probabilitasHigh =  $(6.2 - SR) / (6.2 - 5.8)$ ;  
| if  $probabilitasMedium \leq probabilitasHigh$  then  
| | return MEDIUM;  
| else  
| | return HIGH;  
| end  
else  
| return HIGH ;  
end
```

Algorithm 1: Tahap 1 Menentukan Nilai Fuzzy dari Kekuatan Gempa

Tahapan Kedua adalah menentukan nilai fuzzy dari presentase banyaknya perangkat yang mengirim sinyal gempa menjadi nilai fuzzy berdasarkan pada Gambar 5. Presentasi sinyal didapatkan dengan membandingkan jumlah perangkat yang mendeteksi gempa dan jumlah total perangkat yang ada. Algoritma pada tahap ini dapat dilihat pada Algorithm 2.

Result: Nilai Fuzzy untuk presentase sinyal
 PS = nilai presentase sinyal;
if $PS \leq 35.0$ **then**
 | return SEDIKIT;
else if $PS \geq 35.0$ **AND** $PS \leq 45.0$ **then**
 | probabilitasSedikit = $(45.0 - PS) / (45.0 - 35.0)$;
 | probabilitasCukup = $(PS - 35.0) / (45.0 - 35.0)$;
 | **if** $probabilitasSedikit \leq probabilitasCukup$ **then**
 | | return SEDIKIT;
 | **else**
 | | return CUKUP;
 | **end**
else if $PS \geq 45.0$ **AND** $PS \leq 55.0$ **then**
 | return CUKUP;
else if $PS \geq 55.0$ **AND** $PS \leq 75.0$ **then**
 | probabilitasCukup = $(PS - 55.0) / (75.0 - 55.0)$;
 | probabilitasBanyak = $(75.0 - PS) / (75.0 - 55.0)$;
 | **if** $probabilitasCukup \leq probabilitasBanyak$ **then**
 | | return CUKUP;
 | **else**
 | | return BANYAK;
 | **end**
else
 | return BANYAK ;
end

Algorithm 2: Tahap 2 Menentukan Nilai Fuzzy dari Presentase Sinyal Gempa

Tahapan Ketiga adalah menentukan hasil keputusan dari algoritma fuzzy dengan menggunakan parameter nilai fuzzy dari kekuatan gempa dan presentase sinyal berdasarkan tabel keanggotaan pada Tabel III. Algoritma pada tahap ini dapat dilihat pada Algorithm 3.

Result: Nilai Akhir dari Fuzzy
 SINYAL = nilai fuzzy presentase sinyal;
 GEMPA = nilai fuzzy kekuatan gempa;
if $SINYAL == SEDIKIT$ **then**
 | return FALSE;
else if $SINYAL == CUKUP$ **then**
 | **if** $GEMPA == LOW$ **then**
 | | return FALSE;
 | **else**
 | | return TRUE;
 | **end**
else if $SINYAL == BANYAK$ **then**
 | return TRUE;
else
 | return UNDEFINED ;
end

Algorithm 3: Tahap 3 Menentukan Nilai Akhir dari Fuzzy

Tahapan Keempat adalah memastikan apakah benar-benar terjadi gempa atau tidak dengan berdasarkan nilai akhir yang didapat dari Algorithm 3 dengan ketentuan jika nilai TRUE maka dilanjutkan ke Tahapan Kelima sedangkan jika FALSE sistem akan menghentikan proses selanjutnya.

Tahapan Kelima adalah menentukan perkiraan kategori gempa dalam bentuk Skala SIG BMKG berdasarkan kekuatan skala richter dengan ketentuan berdasarkan Tabel IV. Algoritma pada tahap ini dapat dilihat pada Algorithm 4.

Result: Skala SIG BMKG

SR = kekuatan gempa;

if $SR \leq 2.2$ **then**

| return I;

else if $SR \leq 4.1$ **then**

| return II;

else if $SR \leq 4.6$ **then**

| return III;

else if $SR \leq 5.9$ **then**

| return IV;

else

| return V ;

end

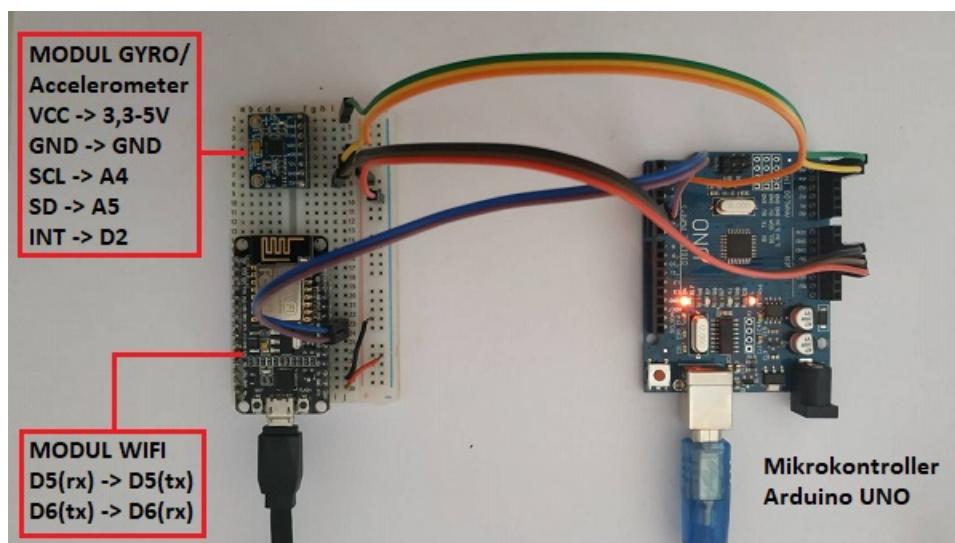
Algorithm 4: Tahap 5 Menentukan Skala SIG BMKG dari Skala Richter

Tahapan Keenam adalah tahapan akhir dimana sistem akan mengirimkan melanjutkan sinyal gempa bumi ke sistem peringatan dini baik berupa sirine, notifikasi aplikasi, dan sebagainya.

IV. HASIL DAN DISKUSI

A. Skenario Pembuatan Perangkat (Node Sensor)

Perangkat yang digunakan dalam percobaan kali ini menggunakan modul wifi untuk mengirim data menggunakan protokol HTTP dan sensor gyro accelerometer yang untuk mengukur nilai X dan Y dan menghitung besar kekuatan gempa bumi, prototipe perangkat dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Prototipe Perangkat Deteksi Kekuatan Gempa

B. Skenario Pengujian Kecepatan Proses Sistem

Evaluasi ini bertujuan untuk mengetahui besar nilai kecepatan pemrosesan data dimulai dari pengiriman sinyal dari perangkat ke server kemudian proses validasi dan klasifikasi pada server hingga hasil akhir dapat disimpulkan., pengujian dilakukan dengan membuat 2 tingkat server yaitu server perangkat dan server utama. Server perangkat berfungsi untuk menerima data dari perangkat dan melakukan validasi dan klasifikasi awal, server utama berfungsi untuk menerima data yang dikirimkan oleh server perangkat dan melakukan validasi dan klasifikasi lanjutan. Berikut adalah ketentuan langkah-langkah pengujian yang dilakukan :

- 1) Dibuat 5 node sensor untuk mendeteksi gempa bumi untuk dikirim ke setiap server perangkat setiap 5 detik.
- 2) Dibuat 2 server perangkat yang masing-masing menerima data dari node sensor dan mengirim hasil validasi dan klasifikasi ke server utama setiap 5 detik.
- 3) Dibuat 1 server utama yang menerima data hasil validasi dan klasifikasi awal dari server perangkat.
- 4) Waktu dan hasil dari setiap proses disimpan dalam *database*.
- 5) Waktu yang disimpan adalah saat data diterima oleh sistem dan di proses hingga akhir, tidak termasuk pada waktu pengiriman data karena sangat bergantung pada konektivitas internet yang digunakan.

Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Tabel V dan Tabel VI.

Tabel V
TABEL PENGUJIAN SISTEM PADA SERVER PERANGKAT

Nama Server	Jumlah Node Sensor	Jumlah Total Percobaan	Rata-rata Waktu Yang Dibutuhkan Dalam Setiap Proses
server perangkat 1	5 node sensor	1000 kali	3,805 detik
server perangkat 2	3 node sensor	1000 kali	2,27 detik

Pada Tabel V dapat disimpulkan dalam 1000 kali percobaan rata-rata waktu yang dibutuhkan dalam melakukan proses validasi dan klasifikasi dipengaruhi oleh banyaknya node sensor yang digunakan, sebagai contoh pada server perangkat 1 membutuhkan waktu 1 - 2 detik lebih lama daripada server perangkat 2 dikarenakan jumlah node yang diproses pada server perangkat 1 berjumlah 5 node sensor sedangkan pada server perangkat 2 hanya berjumlah 3 node sensor.

Tabel VI
TABEL PENGUJIAN SISTEM PADA SERVER UTAMA

Nama Server	Jumlah Server Perangkat	Jumlah Total Percobaan	Rata-rata Waktu Yang Dibutuhkan Dalam Setiap Proses
server utama	2 server perangkat	1000 kali	1,36 detik

pada Tabel VI dapat dilihat rata-rata waktu yang dibutuhkan oleh sistem untuk melakukan proses validasi dan klasifikasi data yang dikirimkan oleh server perangkat, lama waktu yang dibutuhkan oleh sistem dengan jumlah dua server perangkat mencapai 1 - 2 detik.

Berdasarkan dari hasil pengujian pada Tabel V dan Tabel VI dapat diketahui waktu yang dibutuhkan dari masing-masing sistem pada setiap server, selanjutnya pada Tabel VII dapat dilihat total waktu keseluruhan yang dibutuhkan sistem untuk mengolah data yang dikirimkan perangkat hingga mengambil keputusan apakah terjadi gempa atau tidak.

Tabel VII
TABEL SKENARIO PENGUJIAN KECEPATAN PROSES SISTEM

Interval Pengiriman Data Node Sensor ke Server	Waktu Proses Pada Server Perangkat	Interval Pengiriman Data Server Perangkat ke Server Utama	Waktu Proses Pada Server Utama	Total Waktu Yang Dibutuhkan
5 detik per request	0,761 detik per data node sensor	5 detik per request	0,68 detik per server perangkat	11-12 detik per request

Berdasarkan Tabel VII dibuat rumus yang lebih dinamis dalam menghitung lama waktu yang dibutuhkan oleh sistem dalam setiap proses validasi dan klasifikasi sinyal gempa, yaitu :

$$T = I_1 + I_2 + (N_1 * 0,761) + (N_2 * 0,68) \tag{2}$$

T = Total Waktu yang dibutuhkan (detik)

I_1 = Interval pengiriman data node sensor ke server perangkat (detik)

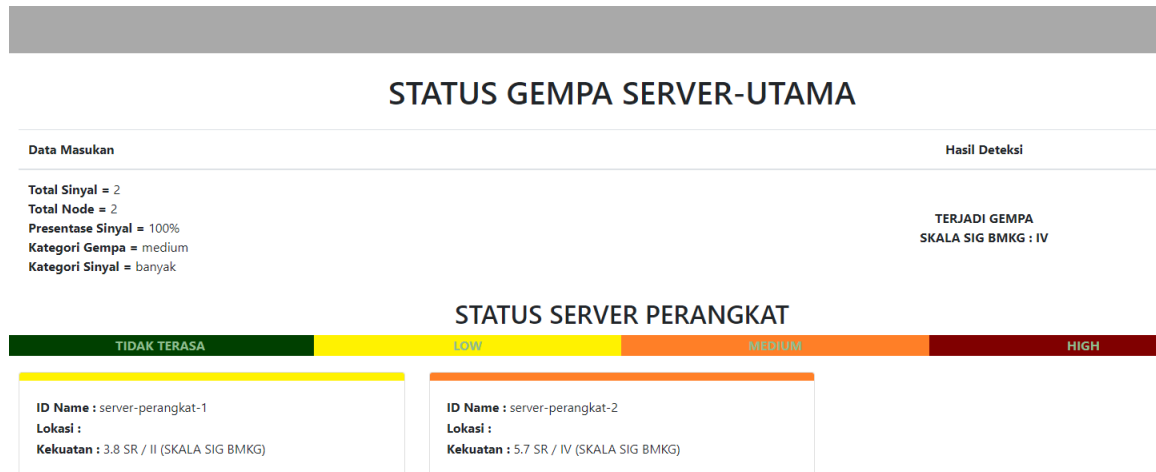
I_2 = Interval pengiriman data server perangkat ke server utama (detik)

N_1 = Jumlah node sensor

N_2 = Jumlah server perangkat

C. Skenario Pengujian Ketepatan Akurasi Sistem

Evaluasi ini bertujuan untuk mengetahui kesesuaian data yang dikirim oleh perangkat dengan data yang dihasilkan oleh server, hasil dari pengujian server perangkat dan server utama dapat dilihat pada Tabel VII dan tabel VIII untuk server utama. Hasil dari proses pada server perangkat dan server utama ditampilkan dalam bentuk *web view* yang dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Tampilan Server Utama

Gambar 7 menampilkan informasi yang dihasilkan dari proses validasi dan klasifikasi akhir pada server utama, beberapa informasi yang ditampilkan adalah presentase sinyal, total node atau server perangkat, kategori gempa, kategori sinyal, status server perangkat dan skala SIG BMKG.

Tabel VIII
 TABEL SKENARIO PENGUJIAN SERVER UTAMA

Percobaan Ke-	Nilai Kekuatan Gempa Bumi	Jumlah Hasil Sesuai	Jumlah Hasil Tidak Sesuai	Keterangan Akurasi
1 - 250	3.0 - 4.0 SR	221	29	88.4%
251-500	4.1 - 5.0 SR	213	37	85.2%
501-750	5.1 - 6.0 SR	192	58	79.2%
751 - 1000	≥ 6.1 SR	186	62	74.4%
			Rata-rata	81.8%

Dengan melihat pada Tabel VIII kita dapat mengetahui besar akurasi yang dihasilkan oleh sistem. Perhitungan akurasi dibagi menjadi 4 tahap berdasarkan besar skala richter yang dibaca.

V. KESIMPULAN

Sistem yang dibangun sudah diimplementasikan dan diuji dengan skenario yang telah dibuat, berdasarkan hasil skenario pengujian yang telah dilakukan kecepatan proses sistem membutuhkan waktu hanya 11 - 12 detik dalam setiap kali melakukan proses validasi dan klasifikasi gempa dengan akurasi akhir sistem sebesar 81.8%. Dari hasil pengujian pada skenario pengujian yang dibuat, sistem mampu memberikan kemampuan komputasi dan persebaran informasi deteksi gempa secara tepat dan akurat. Perlu dukungan koneksi jaringan internet yang stabil dan cepat untuk dapat memberikan informasi gempa kepada masyarakat agar persebaran informasi lebih cepat dari yang diumumkan oleh BMKG (kurang lebih 4 menit).

ACKNOWLEDGMENT

Penulis mengucapkan terimakasih kepada kedua orangtua dan semua kolega di Telkom University yang telah mendukung riset ini.

PUSTAKA

- [1] Rafi G Alphonso A. Earthquake early warning system by iot using wireless sensor networks. *Earthquake Early Warning System by IOT using Wireless Sensor Networks*, 1:2–64, 2016.
- [2] Cahya Kusuma Ardhi. Perancangan sistem sensor gempa menggunakan sensor accelerometer dan sensor getar. http://www.academia.edu/37190453/Perancangan_sistem_sensor_gempa_menggunakan_sensor_accelerometer_dan_sensor_getar.pdf, 2018. Online; Accessed 23 November 2018.
- [3] Tim Berners-Lee, Roy Fielding, and Henrik Frystyk. Hypertext transfer protocol–http/1.0. Technical report, 1996.
- [4] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. Skala mmi bmg. <https://www.bmg.go.id/gempabumi/skala-mmi.bmg>, 2018. Online; Accessed 28 Maret 2019.
- [5] Detik. bmg kekurangan 695 alat deteksi dini-gempa-dan-tsunami. <https://news.detik.com/berita/3842996/bmg-kekurangan-695-alat-deteksi-dini-gempa-dan-tsunami>, 2018. Online; Accessed 15 September 2018.
- [6] Paul S Earle, Daniel C Bowden, and Michelle Guy. Twitter earthquake detection: earthquake monitoring in a social world. *Annals of Geophysics*, 54(6), 2012.
- [7] Matthew Faulkner, Michael Olson, Rishi Chandy, Jonathan Krause, K Mani Chandy, and Andreas Krause. The next big one: Detecting earthquakes and other rare events from community-based sensors. In *Proceedings of the 10th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks*, pages 13–24. IEEE, 2011.
- [8] Roy Fielding, Jim Gettys, Jeffrey Mogul, Henrik Frystyk, Larry Masinter, Paul Leach, and Tim Berners-Lee. Hypertext transfer protocol–http/1.1. Technical report, 1999.
- [9] Geo.Mtu.Edu. Earthquake magnitude classes. <http://www.geo.mtu.edu/UPSeis/magnitude.html>, 2017. Online; Accessed 10 Oktober 2018.
- [10] IDCcloudHost. Mari mengenal apa itu internet of thing(iot). <https://idcloudhost.com/mari-mengenal-apa-itu-internet-thing-iot/>, 2016. Online; Accessed 15 Oktober 2018.
- [11] Karyapemuda. Pengertian gempa bumi. <https://karyapemuda.com/pengertian-gempa-bumi/>, 2017. Online; Accessed 16 Oktober 2018.
- [12] Kumparan. Mengapa di indonesia sering terjadi gempa? <https://kumparan.com/@kumparansains/mengapa-di-indonesia-sering-terjadi-gempa-1538383191480141053>, 2018. Online; Accessed 14 April 2019.
- [13] Yutaka Nakamura. On the urgent earthquake detection and alarm system (uredas). In *Proc. of the 9th World Conference on Earthquake Engineering*, volume 7, pages 673–678. Tokyo-Kyoto Japan, 1988.
- [14] Missouri Department of Natural Resources. The relationship between richter magnitude and modified mercalli intensity. https://dnr.mo.gov/geology/geosrv/geores/richt_mercalli_relation.htm, 2018. Online; Accessed 28 Maret 2019.
- [15] MD. Akter Sadaf Asadullahil Galib Tahia Fahrin Karim Rahinul Hoque, Shoaib Hassan. Earthquake monitoring and warning system. *Earthquake Monitoring and Warning System*, 1:2–64, 2015.
- [16] Ahmad Nur Fadhil Siregar. *Simulasi Perancangan Alat Deteksi Gempa Bumi Menggunakan Vibration Sensor Berbasis Mikrokontroler*. Prentice Hall, 2016.
- [17] Skymetweather. 10 earthquake prone countries in the world. <https://www.skymetweather.com/content/earth-and-nature/10-earthquake-prone-countries-in-the-world/>, 2018. Online; Accessed 14 April 2019.
- [18] Jayalakshmi Chandle Amil Kulkarni Yogesh Sherki, Nikhil Gaikwad. Design of real time sensor system for detection and processing of seismic waves for earthquake early warning system. *Design of Real Time Sensor System for Detection and Processing of Seismic Waves for Earthquake Early Warning System*, 1:2–64, 2015.

