

RANCANG BANGUN ALAT DETEKSI GELOMBANG SEISMIK. STUDI KASUS GELOMBANG LOVE

Rozin Khalim¹, Sotyohadi², Bima Romadhon Parada Dian Palevi³

Teknik Elektro S1, ITN Malang, Malang Indonesia

rozinkhalim549@gmail.com¹, sotyohadi@lecturer.itn.ac.id², bimarppd@lecturer.itn.ac.id³

Abstrak—Gempa bumi merupakan getaran atau guncangan yang terjadi pada akibat pelepasan energi dari dalam secara tiba-tiba yang menciptakan gelombang seismik. Pada wilayah Indonesia saat ini rentan terhadap gempa vulkanik dan tektonik akibat Cincin Api Pasifik, di mana lempeng tektonik tektonik Indo-Australia bertabrakan dengan lempeng tektonik Pasifik. Sehingga pada penelitian ini bertujuan untuk melakukan perancangan alat deteksi gempa bumi secara real time yang menggunakan sensor accelerometer. Jenis sensor yang digunakan yaitu sensor accelerometer IMU (Inertial Measurement Unit) dengan Type IMU 9 DOF untuk mengukur percepatan gerakan tanah. Dengan menggunakan ESP32 yang mengolah data sensor dan mengirim data ke software Delphi 7 untuk menampilkan gambaran sinyal seismik menggunakan Router dan Tenda 03 secara real time. Tujuan dari penelitian yaitu mendeteksi gelombang seismik dengan jenis gelombang Love secara real time menggunakan alat komunikasi local area. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa sensor IMU dapat mendeteksi sinyal seismik gelombang Love dengan parameter sumbu X dan Y pada software Delphi 7.

Kata Kunci: Gempa bumi, Sensor IMU, ESP32, Gelombang Seismik, Real time

I. PENDAHULUAN

Gempa bumi adalah getaran atau guncangan yang terjadi di permukaan bumi akibat pelepasan energi yang terjadi secara tiba-tiba di dalam kerak bumi. Menurut Pujianto, (2007) gempa bumi merupakan salah satu fenomena alam yang dapat disebabkan oleh buatan/akibat kegiatan manusia maupun akibat peristiwa alam [1]. Pada wilayah Indonesia saat ini rentan terhadap gempa vulkanik dan tektonik akibat Cincin Api Pasifik, di mana lempeng tektonik tektonik Indo-Australia bertabrakan dengan lempeng tektonik Pasifik [2]. Tabrakan dan geseran antara lempeng-lempeng ini menyebabkan aktivitas seismik yang tinggi di wilayah Indonesia yang dapat mengakibatkan terjadinya gempa bumi.

Pada penelitian sensor merupakan komponen inti dalam sistem peringatan dini gempa bumi, yang mendeteksi gerakan tanah yang merupakan tanda-tanda awal terjadinya gempa.

Sistem sensor pendeteksi gempa ini menggunakan imu-9 dof sebagai sensor untuk menghasilkan data dari getaran. Menurut Suhardjono (2007), gejala gempa bumi ini masih sulit diprediksi, sering menimbulkan kerusakan, bahkan terkadang menimbulkan tsunami dengan kerusakan parah dan berpotensi menimbulkan korban jiwa. Telah terjadi banyak korban jiwa dan kerugian harta benda akibat bencana gempa bumi yang merupakan fenomena alam yang sangat ditakuti [3].

Gelombang Love merupakan interaksi gelombang SH dengan permukaan dengan hanya melibatkan gerakan partikel secara horizontal [4]. Penelitian ini akan menguraikan proses perancangan dan pengembangan alat deteksi gelombang seismik, serta metode yang digunakan untuk menganalisis gelombang Love. Diharapkan, alat ini dapat menjadi kontribusi yang signifikan dalam ilmu seismologi dan membantu masyarakat untuk lebih siap menghadapi potensi bencana yang ditimbulkan oleh gempa bumi [5].

Pada penelitian yang sudah ada seismograf analog yang menggunakan pena dan drum membuat analisa gelombang gempa tidak dapat dilakukan dengan real time. Selain itu, seismograf analog menghasilkan seismogram berbentuk kertas memerlukan perlakuan khusus dalam penyimpanannya. Saat ini sudah hadir seismograf digital yang analisa datanya dapat dilakukan secara lebih cepat dan mudah. Namun harga seismograf masih relatif tinggi. Sehingga pada penelitian ini menggunakan alat yang lebih modern serta menggunakan sistem embedded dengan mikrokontroler atau prosesor digital yang memungkinkan pemrosesan data dan akan menampilkan gelombang secara digital menggunakan delphi secara real time [6].

II. KAJIAN PUSTAKA

A. Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan getaran atau guncangan yang terjadi pada akibat pelepasan energi dari dalam secara tiba-tiba yang menciptakan gelombang seismik. Gempa bumi sering terjadi karena adanya tabrakan dan geseran antara

lempeng-lempeng ini menyebabkan aktivitas seismik tinggi yang dapat mengakibatkan terjadinya gempa bumi. Menurut penyebabnya, gempa bumi terbagi menjadi beberapa jenis, yaitu: [7].

1) Gempa Tektonik

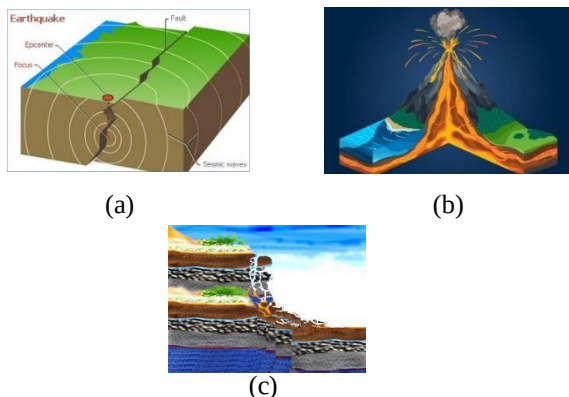
Gempa tektonik merupakan jenis gempa bumi yang disebabkan oleh pergerakan lempeng tektonik yang ada di bawah permukaan bumi. Lempeng-lempeng ini selalu bergerak secara perlahan, tetapi kadang-kadang gerakan tersebut terhambat oleh gesekan antar lempeng. Ketika tekanan yang terkumpul akibat pergerakan ini melebihi batas kekuatan batuan, tiba-tiba terjadi pergeseran atau patahan yang melepaskan energi dalam bentuk getaran, itulah yang kita kenal sebagai gempa bumi tektonik, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 1(a).

2) Gempa Vulkanik

Gempa vulkanik merupakan gempa bumi yang disebabkan oleh aktivitas vulkanik atau gunung berapi. Gempa ini terjadi akibat pergerakan magma di dalam kerak bumi yang menyebabkan tekanan pada batuan di sekitarnya. Ketika tekanan ini meningkat dan batuan tidak dapat lagi menahan tekanan tersebut, terjadilah patahan atau pergeseran yang menimbulkan getaran atau gempa, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 1(b).

3) Gempa Runtuhan

Gempa runtuh merupakan jenis gempa bumi yang terjadi akibat keruntuhan atau jatuhnya material di bawah permukaan bumi, seperti gua-gua, tambang, atau lereng yang mengalami longsor. Fenomena ini umumnya terjadi di daerah penggalian bawah tanah atau wilayah karst yang rentan pembentukan gua alami yang kemudian mengalami keruntuhan, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 1(c).

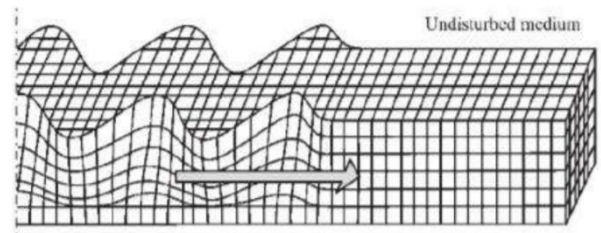


Gambar 1. (a) Gempa Tektonik, (b) Gempa Vulkanik, (c) Gempa Runtuhan

B. Gelombang Love

Gelombang Love merupakan gelombang yang arah rambat partikelnya bergetar melintang terhadap arah penjalarannya seperti gelombang SH, namun amplitudonya berkurang terhadap kedalaman. Gelombang ini terbentuk akibat interferensi gelombang-gelombang pantul SH pada lapisan dekat permukaan bumi. Sebagai gelombang transversal, kecepatan gelombang Love di permukaan bumi mencapai 2,0-

4,4 km/s (Hidayati, 2010), seperti yang diilustrasikan dalam gambar 2.



Gambar 2. Gelombang Love

C. Magnitudo

Magnitudo adalah ukuran untuk mengukur besaran atau kekuatan dari gempa bumi. Dalam ilmu seismologi, magnitudo menunjukkan seberapa kuat energi yang dilepaskan oleh gempa di pusatnya (hiposenter) dan biasanya dinyatakan dalam skala yang dapat memberikan gambaran intensitasnya. Sejak 2008, BMKG telah mengganti skala Richter dengan skala Magnitudo karena Magnitudo memiliki keakuratan yang amat tinggi jika dibandingkan dengan skala Richter. Dibawah ini adalah perhitungan Skala Magnitudo untuk mengubah nilai pada sumbu x, y, dan z pada sensor Accelerometer IMU 9 DOF menjadi besaran magnitudo dapat menggunakan suatu rumus [8].

$$M = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (1)[17]$$

Keterangan :

M = Magnitudo

x = getaran pada sumbu x (m/s²)

y = getaran pada sumbu y (m/s²)

z = getaran pada sumbu z (m/s²)

Tabel 1. Kondisi Gempa Bumi

Magnitudo	Intensitas	Status
2,5	Meskipun tidak terasa, seismograf dapat merekamnya.	Kecil
2,5 – 5,4	Ada dan sering dirasakan, tetapi menyebabkan sedikit kerusakan	Kecil
5,5 – 6,0	Dapat menyebabkan kerusakan ringan pada beberapa bangunan dan struktur lainnya.	Ringan
6,1 – 6,9	Ada kemungkinan menyebabkan kerusakan kecil pada bangunan dan struktur lainnya.	Sedang
7,0 – 7,9	Terjadi gempa bumi besar yang menyebabkan banyak kerusakan.	Kuat
8,0 atau lebih besar	Gempa bumi hebat dapat menghancurkan kota-kota di dekat pusat gempa.	Besar

Klasifikasi gempa bumi dapat dikategorikan berdasarkan skala magnitudo, intensitas, dan statusnya. Gempa dengan magnitudo $\leq 2,5$ termasuk kategori kecil yang meskipun tidak terasa oleh manusia, namun dapat terdeteksi oleh instrumen seismograf pada kondisi tertentu. Gempa dengan magnitudo 2,5 hingga 5,4 juga digolongkan kecil, umumnya sering dirasakan tetapi hanya menimbulkan sedikit atau bahkan tidak ada kerusakan struktural. Gempa bermagnitudo 5,5 hingga 6,0 masuk kategori ringan yang berpotensi menyebabkan kerusakan ringan pada bangunan dan struktur tertentu. Gempa dengan magnitudo 6,1 hingga 6,9 dikategorikan sedang, dengan kemungkinan menimbulkan kerusakan kecil hingga sedang pada bangunan serta struktur lainnya. Pada magnitudo 7,0 hingga 7,9, gempa bumi digolongkan kuat yang biasanya menimbulkan banyak kerusakan dan dapat berdampak serius bagi bangunan maupun lingkungan sekitar. Sementara itu, gempa dengan magnitudo 8,0 atau lebih besar termasuk kategori besar yang mampu menimbulkan kerusakan parah hingga menghancurkan kota-kota yang berada dekat dengan pusat gempa, sebagaimana ditunjukkan dalam tabel 1.

D. Skala Richter

Pada tahun 1934, Charles Richter menciptakan Skala Richter. Skala ini adalah skala gempa bumi yang sering digunakan diseluruh dunia. Sesuai Geologi Amerika Serikat menyebutnya juga sebagai Magnitudo Lokal atau ML. Perhitungan gempa menggunakan skala Richter berdasarkan amplitudo. Meskipun begitu, metode ini memiliki kekurangan karena tidak sepenuhnya menggambarkan energi gempa secara lengkap, terutama ketika gempa bumi melebihi kekuatan 6,0. Dalam kondisi seperti itu, perhitungan skala Richter menjadi tidak akurat [9].

Tabel 2. Daftar Besaran Skala Richter

Richter	Intensitas	Status
2,0	Gempa kecil dan tidak terasa	Kecil
2,0-2,9	Gempa tidak dapat dirasakan akan tetapi terekam	Kecil
4,0-4,9	Gempa dapat diidentifikasi dengan gemetar perabotan dan suara bergetar. Tingkat kerusakan tidak signifikan.	Ringan
5,0-5,9	Konstruksi yang baik biasanya mengalami kerusakan kecil.	Sedang
6,0-6,9	Dapat menyebabkan kerusakan hingga jarak 160 km	Kuat
7,0-7,9	Mengakibatkan kerusakan yang signifikan dengan jangkauan kerusakan yang lebih luas	Kuat
8,0-8,9	Bisa menyebabkan kerusakan ratusan mil	Besar
9,0-9,9	Terjadi kehancuran hingga ribuan mil	Dahsyat
10,0-10,9	Dapat mengakibatkan kehancuran sebuah benua	Dahsyat

Klasifikasi gempa bumi berdasarkan skala Richter menunjukkan hubungan antara magnitudo, intensitas, dan status dampak yang ditimbulkan. Gempa dengan magnitudo 2,0 ke bawah tergolong kecil, tidak terasa oleh manusia, dan hanya dapat terekam melalui alat seismograf. Gempa bermagnitudo 2,0–2,9 juga masih tergolong kecil serta tidak dirasakan manusia, namun tetap tercatat oleh instrumen seismik. Pada magnitudo 4,0–4,9, gempa digolongkan ringan karena dapat diidentifikasi melalui getaran perabotan dan suara bergetar, meskipun tingkat kerusakan tidak signifikan. Gempa dengan magnitudo 5,0–5,9 digolongkan sedang, dimana bangunan dengan konstruksi baik umumnya hanya

mengalami kerusakan kecil. Pada rentang 6,0–6,9, gempa digolongkan kuat karena dapat menyebabkan kerusakan dalam radius hingga 160 km. Magnitudo 7,0–7,9 menimbulkan kerusakan signifikan dengan jangkauan yang lebih luas. Gempa bermagnitudo 8,0–8,9 termasuk kategori besar karena mampu mengakibatkan kerusakan hingga ratusan mil. Pada magnitudo 9,0–9,9, gempa digolongkan dahsyat karena dapat menimbulkan kehancuran hingga ribuan mil. Sedangkan magnitudo 10,0–10,9 berada dalam kategori dahsyat yang berpotensi menyebabkan kehancuran pada skala benua, sebagaimana tercantum dalam tabel 2.

E. ESP-32

ESP-32 merupakan mikrokontroler yang diperkenalkan oleh Espressif Systems pada tahun 2016 dan dapat diprogram menggunakan Arduino IDE, sebuah perangkat lunak open-source, dengan terlebih dahulu menginstal paket hardware yang diperlukan. Salah satu keunggulan ESP32 adalah adanya fitur WiFi dan Bluetooth yang mempermudah pengembangan sistem IoT yang membutuhkan konektivitas nirkabel. Untuk menghubungkan ESP32 ke jaringan WiFi melalui Arduino IDE, diperlukan library khusus yang memungkinkan koneksi ke jaringan dengan mendeklarasikan SSID serta kata sandi dari jaringan WiFi yang akan digunakan. ESP32 memiliki arsitektur prosesor berbasis Xtensa LX6 dengan konfigurasi dual-core atau single-core tergantung pada varian yang digunakan, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. ESP-32

F. Mikrotik

Tenda O3 Outdoor merupakan perangkat jaringan CPE (Customer Premises Equipment) yang dirancang untuk penggunaan outdoor, berfungsi sebagai penghubung nirkabel jarak jauh antar dua titik jaringan (point-to-point) atau untuk memperluas jaringan (point-to-multipoint). Perangkat ini menggunakan frekuensi 2,4 GHz dengan antena arah berdaya tinggi untuk menjangkau jarak hingga 5 km dalam kondisi bebas hambatan, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4 [10].



Gambar 4. Tenda 03 Outdoor

G. Sensor IMU 9 DOF

Sensor IMU (Inertial Measurement Unit) 9 DoF (Degrees of Freedom) merupakan jenis sensor yang mampu mengukur gerakan dan orientasi suatu objek di ruang 3D. Sensor ini memiliki 9 derajat kebebasan yang berasal dari gabungan tiga sensor, yaitu accelerometer yang mengukur percepatan linier pada sumbu X, Y, dan Z sebanyak 3 DoF, gyroscope yang mengukur kecepatan sudut atau rotasi pada sumbu X, Y, dan Z sebanyak 3 DoF, serta magnetometer yang mengukur medan magnet untuk menentukan arah kompas pada sumbu X, Y, dan Z sebanyak 3 DoF. Dengan menggabungkan data dari ketiga sensor tersebut, sensor IMU 9 DoF mampu memberikan informasi yang lebih lengkap tentang posisi, kecepatan, orientasi, dan arah suatu objek dalam ruang tiga dimensi. Sensor ini sering digunakan dalam aplikasi seperti drone, robotika, smartphone, dan sistem navigasi, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Sensor IMU 9 DOF

H. Kabel Jumper

Kabel jumper merupakan kabel yang digunakan untuk menghubungkan komponen dalam membuat alat prototype dan biasa dihubungkan ke mikrokontroler seperti NodeMCU melalui breadboard. Kabel jumper tersedia dalam tiga versi yaitu male to female, male to male, dan female to female dengan karakteristik panjang 10-20cm dan menggunakan jenis kabel serabut dengan housing berbentuk bulat, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 6 (Ilham, Hardisal & Candra, 2020) [11].



Gambar 6. Kabel Jumper

I. Router

Router adalah salah satu komponen pada jaringan komputer yang mampu melewatkan data melalui sebuah jaringan atau internet menuju sasarannya, melalui sebuah proses yang dikenal sebagai routing. Router berfungsi sebagai penghubung antar 2 (dua) atau lebih jaringan untuk



meneruskan data dari jaringan ke jaringan sebagaimana digambarkan pada gambar 7.

Gambar 7. Router

J. Baterai LiPo

Baterai Lipo adalah sebuah baterai Lithium Ion Polymer (LiPo) dengan tegangan 12 volt dan kapasitas 5200 miliampere hour (mAh). Baterai LiPo adalah jenis baterai yang dapat diisi ulang sehingga smart infusion dapat digunakan secara berulang dan memiliki dampak positif terhadap lingkungan. Baterai Lithium Ion Polymer (LiPo) diperkirakan memiliki kapasitas untuk menyediakan daya pada smart infusion selama periode 12 hingga 15 jam, dengan proses pengisian ulang yang memerlukan waktu sekitar 1 hingga 2 jam hingga baterai mencapai kapasitas penuh, visualisasi baterai Lipo ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8. Baterai LiPo

K. Arduino IDE

Arduino Ide adalah perangkat lunak IDE (Integrated Development Environment) seperti sebuah perangkat lunak

yang memudahkan kita mengembangkan aplikasi mikrokontroler mulai dari menuliskan source program, kompilasi, upload hasil kompilasi, dan uji coba secara terminal serial. Mikrokontroler itu sendiri adalah chip atau IC (integrated circuit). Tujuan menanamkan program pada mikrokontroler adalah agar rangkaian elektronik dapat membaca input, memproses input tersebut dan kemudian menghasilkan output sesuai yang diinginkan. Esp8266 ini bisa dijalankan di komputer dengan berbagai macam platform karena didukung atau berbasis Java. Source program yang dibuat untuk aplikasi mikrokontroler adalah bahasa C/C++ sebagaimana divisualisasikan pada gambar 9.



Gambar 9. Arduino Ide

L. Draw IO

Draw IO merupakan sebuah situs yang didesain khusus untuk menggambar diagram secara online. Untuk mengaksesnya hanya diperlukan browser yang mendukung HTML5 dan juga koneksi internet. Draw.io sudah terintegrasi dengan Google Drive untuk penyimpanan file selain mengekspor dalam bentuk JPG/PNG/SVG/XML, sebagaimana divisualisasikan pada gambar 10.



Gambar 10. Draw Io

M. Delphi 7

Delphi 7 adalah salah satu perangkat lunak untuk membuat merancang program aplikasi yang berpenampilan seperti aplikasi lainnya yang berbasis windows. Kemampuan Borland delphi secara umum adalah menyediakan anda Komponen komponen yang dapat membuat aplikasi yang sesuai dengan tampilan tertentu, Dan dengan di perkuat Bahasa Pemrograman yang handal yaitu Objek Pascal yang sangat terkenal sebagaimana ditunjukkan pada gambar 11.



Gambar 11. Delphi 7

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Objek dan Subjek Penelitian

Objek pada penelitian ini yaitu membuat inovasi dan pemilihan penggunaan sensor accelerometer dalam pendeteksian bencana gempa bumi, sedangkan subjek dalam penelitian ini yaitu menampilkan grafik gelombang love.

B. Alat dan Bahan Penelitian

Penulis dalam penelitian ini menggunakan alat-alat sebagai pendukung penelitian, serta memanfaatkan bahan-bahan yang diperlukan untuk menunjang proses penelitian. Pada penelitian ini, alat dan bahan yang digunakan meliputi perangkat lunak dan perangkat keras, yang tertera pada tabel 3 dan tabel 4.

1) Hardware

Tabel 3. Daftar Kebutuhan Hardware

No.	Nama	Kegunaan
1	Laptop	Digunakan untuk membuat program pada Arduino IDE. Spesifikasi laptop yang digunakan yaitu laptop Asus Vivobook M3400Q dengan prosesor AMD Ryzen 5 5600H, memory RAM 8 GB, storage 512 GB, tipe grafis Radeon, dan menggunakan sistem operasi Windows 11 Home Single Language
2	Sensor Accelerometer IMU 9DOF Grove	Digunakan untuk mendeteksi percepatan suatu getaran.
3	ESP 32	Digunakan untuk memprogram dan menghubungkan perangkat elektronik ke internet.
4	Tenda 03	Digunakan untuk penghubung antara ESP dengan Tenda 03.
5	Router	Digunakan untuk penghubung antara Router dengan PC.
6	Baterai	Digunakan sebagai catu daya.

Daftar perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini yang terdiri atas beberapa komponen utama sebagaimana dipaparkan pada tabel 3, diantaranya : Laptop Asus Vivobook M3400Q dengan prosesor AMD Ryzen 5 5600H, RAM 8 GB, penyimpanan 512 GB, kartu grafis Radeon, serta sistem operasi Windows 11 Home Single Language digunakan sebagai perangkat untuk membuat dan menjalankan program pada Arduino IDE. Sensor Accelerometer IMU 9DOF Grove berfungsi untuk mendeteksi percepatan suatu getaran. Modul

ESP32 digunakan sebagai sarana pemrograman sekaligus menghubungkan perangkat elektronik ke internet. Perangkat Tenda 03 berperan sebagai penghubung antara ESP32 dengan jaringan Tenda. Router digunakan sebagai penghubung antara router dan PC, sedangkan baterai dimanfaatkan sebagai sumber catu daya untuk mendukung sistem secara keseluruhan.

2) Software

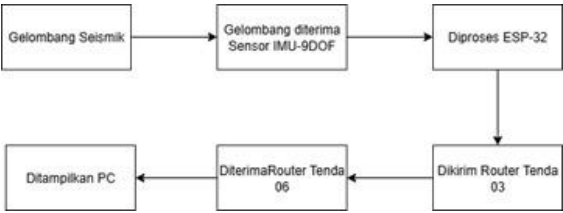
Tabel 4. Daftar Kebutuhan Software

No.	Nama	Kegunaan
1	Arduino IDE	Digunakan untuk membuat program yang akan diupload ke Arduino Uno.
2	Draw IO	Digunakan untuk berbagai macam diagram, seperti diagram penelitian, blok diagram, dan flowchart.
3	Delphi 7	Digunakan untuk menampilkan data.

Beberapa perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini. Arduino IDE dimanfaatkan untuk membuat serta mengunggah program ke dalam mikrokontroler Arduino Uno. Selanjutnya, perangkat lunak Draw IO digunakan dalam pembuatan berbagai macam diagram, seperti diagram penelitian, blok diagram, maupun flowchart yang mendukung proses perancangan sistem. Sementara itu, Delphi 7 digunakan sebagai media untuk menampilkan data yang diperoleh, sehingga memudahkan dalam proses analisis dan pengolahan informasi sebagaimana ditunjukkan pada tabel 4.

C. Block Diagram

Blok diagram adalah representasi dasar dari perangkat keras yang akan digunakan untuk mendukung operasional suatu sistem. Berikut merupakan gambar dari blok diagram pada penelitian ini.



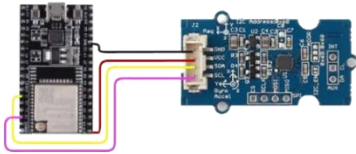
Gambar 12. Block Diagram

Diagram blok merupakan diagram yang menjelaskan proses pendeteksian gelombang seismik yang dimulai dengan penerimaan gelombang sinyal seismik yang dihasilkan oleh pergerakan tanah seperti yang tergambar pada gambar 12, seperti gempa bumi, menggunakan sensor imu-9dof. Sinyal tersebut kemudian diproses oleh sistem embedded yang berfungsi untuk mengolah data yang diterima oleh gelombang seismik, penyaringan sinyal, dan deteksi pola tertentu untuk menemukan perbedaan amplitudo, frekuensi, atau getaran yang signifikan. Hasil pengolahan data tersebut diteruskan melalui sistem komunikasi yang berperan mentransmisikan data ke perangkat lain atau pusat pengendali menggunakan media komunikasi wirelles. Tahap akhir adalah tampilan data, di mana informasi yang sudah diproses divisualisasikan dalam bentuk grafik yang menunjukkan waktu kejadian, intensitas sinyal seismik, dan lokasi sumber gelombang, sehingga

memudahkan pengguna dalam melakukan analisis lebih lanjut.

D. Skema Rangkaian

Skema rangkain pada sistem ini menggunakan perangkat ESP32 sebagai mikrokontroler, sensor IMU 9 DOF dan ESP32 sebagai inputan.



Gambar 13. Rangkaian IMU 9DOF

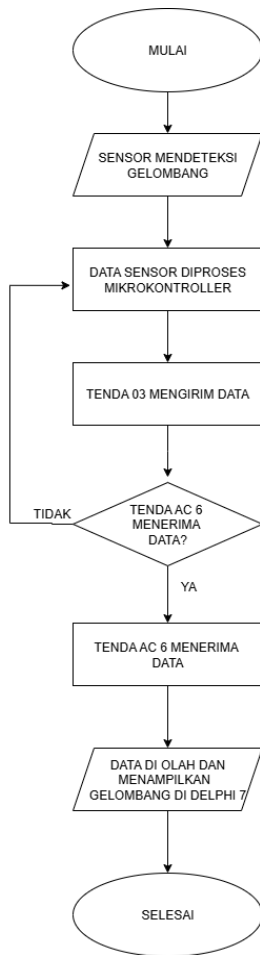
Rangkaian koneksi antara modul ESP32 dengan sensor IMU 9DOF. Pada gambar 13 tergambar koneksi yang melibatkan jalur catu daya (VCC dan GND) serta jalur komunikasi data melalui antarmuka I²C (SDA dan SCL). Rangkaian ini berfungsi untuk memungkinkan ESP32 membaca data percepatan, kecepatan sudut, serta orientasi dari sensor IMU 9DOF guna mendukung proses akuisisi dan pengolahan data.

IMU 9DOF	ESP-32
VCC	VCC
GND	GND
SCL	Pin 21
SDA	Pin 22

Tabel 5. Pin Wiring IMU 9DOF

Konfigurasi pin wiring antara modul IMU 9DOF dengan ESP32. Pin VCC pada IMU 9DOF dihubungkan ke pin VCC pada ESP32 terlihat pada tabel 5, sedangkan pin GND dihubungkan ke GND. Jalur komunikasi menggunakan antarmuka I²C, di mana pin SCL pada IMU 9DOF terhubung dengan pin 21 ESP32, serta pin SDA pada IMU 9DOF terhubung dengan pin 22 ESP32. Konfigurasi ini memastikan proses pertukaran data antara kedua perangkat dapat berlangsung dengan baik.

E. Flowchart Sistem



Gambar 14. Flowchart Sistem

Flowchart yang menunjukkan alur kerja sistem pendeteksian gelombang menggunakan sensor, mikrokontroler, serta aplikasi Delphi. Proses dimulai dari tahap *mulai*, yang menandai bahwa sistem mulai beroperasi sesuai yang tergambar pada gambar 14. Sensor berfungsi untuk mendeteksi adanya gelombang di lingkungan, kemudian data hasil deteksi tersebut diproses oleh mikrokontroler agar dapat dikirimkan secara terstruktur. Setelah diproses, data dikirimkan oleh Tenda 03 sebagai node pengirim. Selanjutnya, sistem melakukan pengecekan terhadap penerimaan data oleh Tenda AC 6. Apabila data tidak berhasil diterima, maka proses akan kembali pada tahap pengiriman hingga Tenda AC 6 menerima data dengan benar. Setelah data berhasil diterima, Tenda AC 6 menyimpannya dan melanjutkan pada tahap berikutnya, yaitu pengolahan data. Data yang diterima kemudian diolah lebih lanjut dan ditampilkan dalam bentuk visualisasi gelombang melalui aplikasi Delphi, sehingga pola gelombang dapat diamati dengan jelas. Setelah proses pengolahan dan penampilan data selesai, sistem mencapai tahap akhir, yaitu *selesai*.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Teknik Pengujian

Pada teknik pengujian menjadi salah satu hal yang sangat penting karena akan membuat gempa buatan yang terjadi secara langsung, berikut teknik pengujian yang digunakan:

Teknik pengujian ini dilakukan dengan cara memukul tong secara memutar. Hal ini dilakukan karena menguji respons struktur terhadap gerakan tanah yang terjadi selama gempa.

B. Hasil Perancangan Hardware



Gambar 15. Hasil Perancangan Hardware

Hasil perancangan hardware yang menggunakan modul ESP32 sebagai mikrokontroler utama yang berfungsi untuk mengolah dan mengirim data, serta sensor Inertial Measurement Unit (IMU) dengan 9 Degrees of Freedom (9 DOF) yang mampu mendeteksi percepatan, kecepatan sudut, dan orientasi. Gambar 15 yang menunjukkan Sensor IMU ini terhubung ke ESP32 melalui antarmuka komunikasi I2C, di mana pin-pin yang digunakan meliputi pin catu daya +3.3V untuk memberi tegangan operasional, GND sebagai ground atau referensi tegangan, serta pin SDA (Serial Data) dan SCL (Serial Clock) yang digunakan untuk pertukaran data antara sensor dan mikrokontroler. Integrasi antar perangkat ini dirancang untuk menghasilkan sistem yang mampu memantau gerakan secara real-time dengan akurasi tinggi.

C. Hasil Perancangan Software



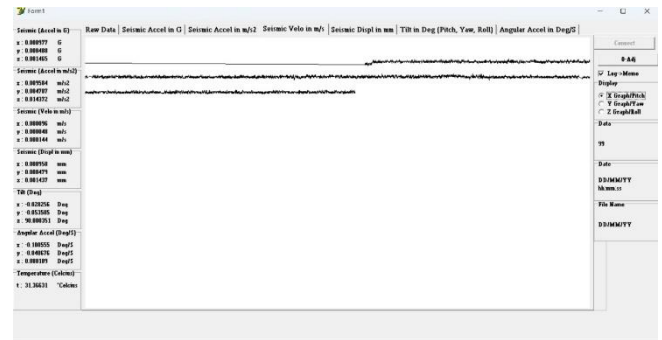
Gambar 16. Hasil Perancangan Software

Hasil perancangan software. Di sisi kiri software, terdapat panel-panel yang menyajikan informasi numerik dari sensor, seperti percepatan seismik dalam satuan G (Seismic Accel in G) maupun dalam satuan internasional m/s^2 (Seismic Accel in m/s^2). Selain itu, ditampilkan pula kecepatan (Seismic Velo in m/s), simpangan atau dislokasi (Seismic Displ in mm), sudut kemiringan (Tilt in Deg), percepatan sudut (Angular Accel in Deg/s^2), serta suhu lingkungan dalam derajat Celcius. Di bagian atas software, terdapat sederet tab yang digunakan untuk memilih jenis data yang ingin ditampilkan pada area utama di tengah layar. Area utama ini berfungsi untuk menampilkan grafik data secara real-time berdasarkan tab yang aktif. Kontrol tambahan terdapat di sisi kanan aplikasi, antara lain tombol "Connect" untuk menghubungkan aplikasi dengan perangkat sensor, tombol "0-Adj" yang digunakan untuk melakukan kalibrasi awal (zero adjustment), serta checkbox "Log -> Memo" untuk mengalihkan data real-time ke jendela memo atau log teks sesuai yang tersaji dalam gambar 16.

Untuk keperluan visualisasi, software ini menyediakan tiga pilihan tampilan grafik berdasarkan orientasi atau rotasi sumbu (X, Y, Z), yang dapat dipilih melalui button. Di bawahnya, ditampilkan informasi waktu, nilai data terkini, dan nama file yang digunakan untuk penyimpanan data, biasanya berdasarkan tanggal akuisisi. Secara keseluruhan, desain pada software ini mendukung proses monitoring data seismik dan orientasi sensor secara menyeluruh, dan sangat cocok digunakan dalam aplikasi geofisika, rekayasa struktur, atau penelitian seismologi. Sistem ini memanfaatkan komponen VCL (Visual Component Library) Delphi untuk menyusun antarmuka secara modular dan interaktif.

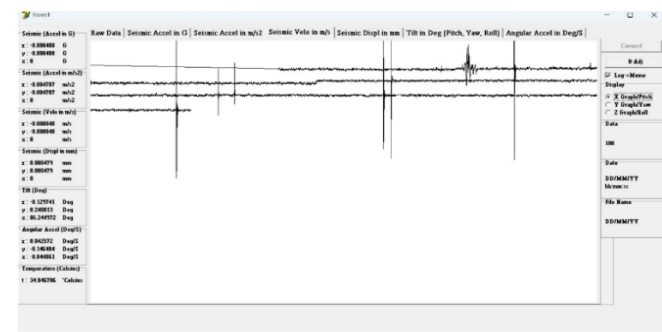
D. Pengambilan Data

Proses pengambilan data dilakukan melalui sensor, dan hasilnya langsung ditampilkan dalam bentuk grafik menggunakan software Delphi 7. Pada analisis gelombang Love ini, data yang dibutuhkan hanya berupa grafik seismik sumbu X dan Y.



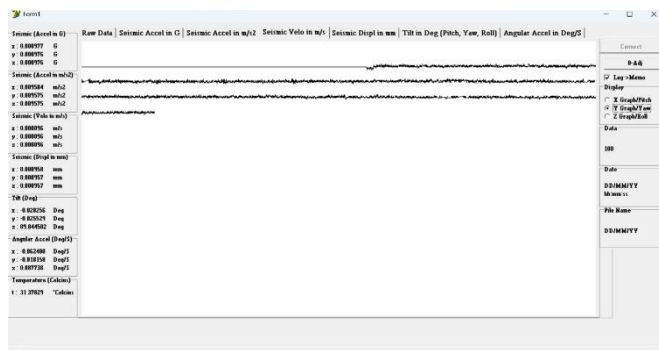
Gambar 17. Grafik X keadaan steady

Grafik hasil pembacaan data dari sensor akselerometer dalam kondisi steady atau diam. Hal ini terlihat dari bentuk kurva pada grafik yang cenderung stabil, sejajar, dan tidak mengalami fluktuasi berarti seiring waktu sesuai yang tersaji pada gambar 17. Data yang konsisten ini mengindikasikan bahwa tidak terdapat perubahan posisi, getaran, atau gerakan pada objek tempat sensor terpasang. Nilai tegangan atau konversi digital dari sensor tetap dalam batas tertentu, yang menunjukkan bahwa sistem berada dalam kondisi diam dan dapat dijadikan sebagai acuan dasar (baseline) sebelum mendeteksi aktivitas atau perubahan fisik.



Gambar 18. Grafik X mendeteksi getaran

Hasil grafik pengukuran sumbu X akselerometer yang terlihat pada gambar 18 menunjukkan tiga bagian yang memiliki nilai X, Y, Z. Nilai X didapatkan dengan getaran yang diberikan dengan nilai $-0.000488g$ ($-0.0004787m/s^2$). Pada nilai Y didapatkan dengan nilai $-0.000488g$ ($-0.0004787m/s^2$). Pada nilai Z didapatkan dengan nilai $0g$ ($0m/s^2$).



Gambar 19. Grafik Y keadaan steady

grafik hasil pembacaan data dari sensor akselerometer dalam kondisi steady atau diam. Hal ini terlihat dari gambar 19 yaitu bentuk kurva pada grafik yang cenderung stabil, sejajar, dan tidak mengalami fluktuasi berarti seiring waktu. Data yang konsisten ini mengindikasikan bahwa tidak terdapat perubahan posisi, getaran, atau gerakan pada objek tempat sensor terpasang. Nilai tegangan atau konversi digital dari sensor tetap dalam batas tertentu, yang menunjukkan bahwa sistem berada dalam kondisi diam dan dapat dijadikan sebagai acuan dasar (baseline) sebelum mendeteksi aktivitas atau perubahan fisik.

Gambar 20. Grafik Y mendeteksi getaran

Hasil grafik pengukuran sumbu X akselerometer yang tersaji pada gambar 20 menunjukkan bahwa terdapat tiga bagian yang memiliki nilai X, Y, Z. Nilai X didapatkan dengan getaran yang diberikan dengan nilai $-0.001953g$ ($0.0004787m/s^2$). Pada nilai Y didapatkan dengan nilai $-0.000488g$ ($0.004787m/s^2$). Pada nilai Z didapatkan dengan nilai $0g$ ($0m/s^2$).



Gambar 21. Data RAW

Data dari software delphi 7 yang menampilkan data sensor dalam bentuk tabel sesuai yang tersaji pada gambar 21. Data yang ditampilkan merupakan data mentah (raw data) yang dihasilkan dari sensor akselerometer, giroskop, dan sensor orientasi lainnya. Setiap baris merepresentasikan satu pengambilan data (sampling) pada waktu tertentu, yang terdiri dari beberapa parameter fisik, seperti *Sensor Accel (X, Y, Z)* yang menunjukkan percepatan dalam tiga sumbu, *Sensor Gyro (X, Y, Z)* yang menunjukkan kecepatan sudut, serta *Time Step* yang mengindikasikan waktu relatif dari setiap pengukuran. Selain itu, terdapat parameter seperti *Angle Accel to Deg* yang menunjukkan konversi sudut dari data akselerometer. Data ini penting sebagai representasi awal sebelum dilakukan proses pengolahan lebih lanjut seperti *filtering*, *analisis statistik*, atau visualisasi dalam bentuk grafik. Oleh karena itu, data mentah ini akan disimpan dalam file Excel (.xls atau .xlsx) untuk kemudahan penyimpanan, dokumentasi, serta manipulasi data secara terstruktur. Penyimpanan ke dalam Excel juga memudahkan proses analisis menggunakan perangkat lunak pengolahan data seperti Microsoft Excel, MATLAB, atau Python. Dengan menyimpan data dalam bentuk ini, peneliti atau pengguna dapat melakukan evaluasi performa sensor, validasi algoritma, serta mengembangkan sistem deteksi atau monitoring berbasis data tersebut.

V. KESIMPULAN

Setelah melalui serangkaian tahapan mulai dari perencanaan, pemasangan perangkat keras, pengujian sistem, hingga analisis terhadap data yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa proses perancangan serta implementasi sistem telah berhasil dilaksanakan dengan baik dan sesuai dengan tujuan yang telah direncanakan. Adapun beberapa pencapaian penting yang berhasil dicapai dalam proses ini antara lain:

1. Pada tahap perancangan alat, setiap sensor yang digunakan mampu menghasilkan data fisis yang kemudian dikonversi secara otomatis ke dalam satuan magnitudo, sehingga memudahkan dalam proses analisis dan interpretasi data selanjutnya.
2. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, sensor IMU (Inertial Measurement Unit) 9 Degrees of Freedom (DOF) mampu mendeteksi getaran atau perubahan gerakan yang terjadi pada media uji. Getaran tersebut kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik sinyal, yang menggambarkan gelombang seismik tipe Love, sebagaimana terlihat pada pola fluktuasi data terhadap sumbu X dan sumbu Y. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu merekam dan merepresentasikan fenomena dinamis secara akurat sesuai karakteristik fisiknya.
3. Pada Gambar data RAW menampilkan data mentah (raw data) yang dihasilkan dari sensor akselerometer, giroskop, dan sensor orientasi lainnya, dimana setiap baris merepresentasikan satu

pengambilan data (sampling) pada waktu tertentu, yang terdiri dari beberapa parameter fisik, seperti *Sensor Accel (X, Y, Z)* yang menunjukkan percepatan dalam tiga sumbu, *Sensor Gyro (X, Y, Z)* yang menunjukkan kecepatan sudut, serta *Time Step* yang mengindikasikan waktu relatif dari setiap pengukuran

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Sulistiawaty, V. A. Tiwow, And S. Saleh, "Mitigasi Bencana Gempabumi Dan Tsunami," Semin. Nas. Pengabd. ..., Pp. 321–324, 2020, [Online]. Available: <https://Ojs.Unm.Ac.Id/Semnaslpm/Article/View/15923>
- [2] A. B. Siregar, E. Ezwarsyah, H. M. YUSDARTONO, And F. A. Nasution, "Rancang Bangun Sistem Peringatan Gempa Menggunakan Sensor Adxl 345 Berbasis Lora Dengan Esp 32," J. Energi Elektr., Vol. 11, No. 2, P. 8, 2022, Doi: 10.29103/Jee.V11i2.10066.
- [3] Anita, R. Kurnia, And D. Chairilisyah, "Pengembangan Media Pop Up Book Berbasis Pengetahuan Mitigasi Bencana Gempa Bumi Untuk Anak Usia 4-5 Tahun," J. Rev. Pendidik. Dan Pengajaran, Vol. 6, No. 4, Pp. 572–577, 2023, [Online]. Available: <http://Journal.Universitaspahlawan.Ac.Id/Index.Php/Jrpp/Article/View/20147%0ahttp://Journal.Universitaspahlawan.Ac.Id/Index.Php/Jrpp/Article/Download/20147/14587>
- [4] M. A. Fahrizi And S. Saifuddin, "Pengaruh Kedalaman Dan Kecepatan Gelombang Geser Batuan Dasar Terhadap Respons Tanah Menggunakan Mikrotremor Di Its Surabaya," J. Sains Dan Seni Its, Vol. 12, No. 2, May 2023, Doi: 10.12962/J23373520.V12i2.114074.
- [5] A. Nasution, "Pemetaan kecepatan Gelombang Geser (Vs30) Menggunakan Metode Masw (Multichannel Analysis Of Surface Wave) Kota Kalabahi Kab. Alor Nusa Tenggara Timur," P. 2016, 2016.
- [6] I. Priyadi, F. Hadi, S. Khotimah, And B. Besperi, "Modul Deteksi Dan Perekaman Data Gempa Berbasis Database Earthquake Intensity (Dei)," Elkomika J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron., Vol. 9, No. 3, P. 648, 2021, Doi: 10.26760/Elkomika.V9i3.648.
- [7] S. N. Hudha, U. Harmoko, S. Widada, D. H. Yusuf, G. Yulianto, And Sahid, "Penentuan Struktur Bawah Permukaan Dengan Menggunakan Metode Seismik Refraksi Di Lapangan Panas Bumi Diwak Dan Derekan, Kecamatan Bergas, Kabupaten Semarang," Youngster Phys. J., Vol. 3, No. 3, Pp. 263–268, 2014.
- [8] Handoyo, "Metode Multichannel Analysis Of Surface Waves (Masw): Teori Dan Aplikasi Pada Identifikasi Sesar Dangkal Di Dekat Permukaan (Near Subsurface)," J. Geofis., Vol. 21, No. 2, 2023.
- [9] A. Banuboro, D. D. Warnana, F. Syaifuddin, And A. D. Guntara, "Analisa Parameter Desain Akuisisi Seismik 2d Dengan Metode Dinamik Pada Lingkungan Vulkanik, Studi Kasus: Cekungan Jawa Barat Bagian Utara," J. Tek. Its, Vol. 6, No. 2, Pp. 2–7, 2017, Doi: 10.12962/J23373539.V6i2.24094.
- [10] Cahya, B., Sutiyo, F. R. A., El Saputra, Y., & Elfarizi, M. (2023). Implementasi Firewall Pada Mikrotik Untuk Keamanan Jaringan. *Jocitis-Journal Science Infomatica And Robotics*, 1(2), 63–80.
- [11] Lubis, M. D. S., Hasannudin, D., Efendi, J., Wiljono, L., & Sufiani, M. (2020). Membangun Router Pada Jaringan Komputer Menggunakan Ubuntu Os. *Jtik (Jurnal Teknik Informatika Kaputama)*, 4(2), 111–125.
- [12] Ekiawan, K. S., Lydia, E., Ahmad, V., & Maulana, E. (2023). Infus Pintar Untuk Meminimalisasi Terjadinya Penyumbatan Pada Selang Infus Terintegrasi Fuzzy Logic. *Buletin Pagelaran Mahasiswa Nasional Bidang Teknologi Informasi Dan Komunikasi*, 1(1), 38–43.

VII. BIODATA PENULIS



Rozin Khalim, lahir di Tulungagung, 23 Juni 2003. Penulis menyelesaikan Pendidikan Sekolah Menengah Kejuruan di SMK Negeri 1 Bandung tahun 2021. Setelah itu pada tahun 2021 penulis melanjutkan Pendidikan Studi diperguruan tinggi swasta Institut Teknologi Nasional Malang program studi Teknik Elektro S-1 dengan konsentrasi Teknik Elektronika Kendali dan Instrumentasi. Akhir kata dari penulis mengucapkan terimakasih dan rasa syukur yang sebanyak-banyaknya atas selesainya penelitian ini dengan judul "Rancang Bangun Alat Deteksi Gelombang Seismik. Studi Kasus Gelombang Love".