

TEKNOLOGI SENSOR GETAR BERBASIS ARDUINO UNO UNTUK DETEKSI RUNTUHAN GEMPA

Frengki Adolf Tanaem, Hilmatul Aisyiyah, Erina Maulidatul Komariyah,
Azzahra Vima Lika, Vivi Azmilah, Tutut Nurita*, Wahono Widodo

Universitas Negeri Surabaya, Indonesia

*Corresponding author: tututnurita@unesa.ac.id

Abstrak: Indonesia, sebagai negara yang terletak di Cincin Api Pasifik, rentan terhadap bencana gempa bumi. Aktivitas seismik yang tinggi dapat menyebabkan keruntuhan bangunan dan kerusakan infrastruktur, sehingga memerlukan teknologi deteksi dini gempa. Penelitian ini mengembangkan sistem deteksi dini dengan menggunakan mikrokontroler Arduino Uno, yang merupakan solusi terjangkau dan mudah diimplementasikan di daerah rawan gempa. Arduino Uno, dilengkapi dengan sensor getar dan akselerometer, mampu mendeteksi perubahan intensitas getaran yang dapat mengindikasikan potensi keruntuhan. Sistem ini diharapkan dapat meningkatkan kesiapsiagaan masyarakat, khususnya di wilayah terpencil, serta mengurangi dampak bencana. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem yang sederhana, efektif, dan dapat diakses oleh masyarakat dalam menghadapi risiko gempa bumi.

Kata Kunci: Indonesia, deteksi dini, gempa bumi, arduino uno, sensor getar

Abstract: Indonesia, as a country located in the Pacific Ring of Fire, is vulnerable to earthquake disasters. High seismic activity can lead to building collapses and infrastructure damage, thus requiring earthquake early detection technology. This study develops an early detection system using the Arduino Uno microcontroller, which is an affordable and easily implemented solution in earthquake-prone areas. The Arduino Uno, equipped with vibration and accelerometer sensors, is capable of detecting changes in vibration intensity that may indicate potential collapses. This system is expected to enhance community preparedness, especially in remote areas, and reduce the impact of disasters. The study aims to design a simple, effective, and accessible system for communities to address earthquake risks.

Keywords: Indonesia, early detection, earthquakes, arduino uno, vibration sensor

PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara maritim dengan luas wilayah perairan yang lebih besar dibandingkan luas daratan. Terletak di kawasan Asia Tenggara, Indonesia berada di garis khatulistiwa secara geografis diapit oleh dua benua, yaitu Benua Asia dan Benua Australia, serta dua samudra, yaitu Samudra Hindia dan Samudra Pasifik. Secara astronomis, Indonesia terletak di antara 6° Lintang Utara - 11° Lintang Selatan dan 95° Bujur Timur - 141° Bujur Timur. Berdasarkan letak tersebut, Indonesia berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama dunia, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Pasifik. Posisi geografis ini menjadikan Indonesia bagian dari wilayah Ring of Fire (Cincin Api Pasifik), yang membentang sepanjang 40.000 kilometer. Hal ini menyebabkan wilayah Indonesia rawan gempa bumi dan letusan gunung berapi, terutama di sekitar cekungan Samudra Pasifik (Utomo & Purba, 2019). Gempa bumi adalah getaran atau guncangan yang terjadi di permukaan bumi. Gempa bumi disebabkan oleh terjadinya pergerakan lempeng bumi. Kebanyakan gempa bumi disebabkan dari pelepasan energi yang dihasilkan oleh tekanan yang dilakukan oleh lempengan yang bergerak. Semakin lama tekanan itu

kian membesar dan akhirnya mencapai keadaan dimana tekanan tersebut tidak dapat ditahan lagi pergerakannya (Ningtyas & Risina, 2018).

Kerentanan Indonesia terhadap bencana gempa bumi menuntut pengembangan teknologi deteksi dini yang efektif. Teknologi ini tidak hanya penting untuk memperingatkan masyarakat agar dapat menghindari risiko cedera atau korban jiwa, tetapi juga berfungsi sebagai sarana edukasi yang sangat berguna, terutama di komunitas pedesaan. Di sekolah, misalnya, perangkat deteksi dini dapat digunakan sebagai alat pembelajaran interaktif. Siswa diajarkan cara kerja sensor yang dapat mendeteksi getaran, membaca data yang dihasilkan, dan memahami bagaimana informasi tersebut diterjemahkan untuk mendeteksi potensi gempa. Pendekatan ini tidak hanya membantu meningkatkan pemahaman siswa terhadap mekanisme gempa bumi, tetapi juga menumbuhkan kesadaran akan pentingnya kesiapsiagaan bencana sejak dini. Dengan memahami risiko yang ada di wilayah tempat tinggal mereka, siswa juga dapat berkontribusi dalam menyebarkan informasi kepada keluarga dan masyarakat. Edukasi berbasis teknologi ini mendorong generasi muda untuk lebih terlibat secara praktis dalam mitigasi bencana, sekaligus membuka peluang untuk pengembangan solusi inovatif di masa depan (Effendi et al., 2021).

Lebih jauh lagi, perbedaan karakteristik antara alat pendeteksi berbasis Arduino dan perangkat konvensional seperti seismograf tradisional menjadi perhatian dalam teknologi deteksi dini. Arduino Uno dengan sensor getar memungkinkan respons yang lebih cepat pada skala kecil dan bersifat portabel, sehingga cocok untuk pemantauan cepat di berbagai lokasi (Zainal Abidin et al., 2017). Namun, seismograf konvensional menggunakan mekanisme massa dan pegas yang lebih sensitif terhadap frekuensi rendah dan memberikan hasil yang sangat detail, yang membuatnya lebih tepat untuk penelitian ilmiah. Teknologi Arduino, meski memiliki keunggulan kemudahan pemakaian dan fleksibilitas, masih kurang akurat dalam mendeteksi amplitudo kecil. Ini menunjukkan bahwa meskipun Arduino unggul dalam segi kemudahan dan kecepatan instalasi, penggunaannya lebih sesuai untuk sistem peringatan dini yang lebih umum daripada untuk studi ilmiah yang membutuhkan presisi tinggi (Ghifari et al., 2018).

Penerapan teknologi berbasis Arduino dalam sistem deteksi gempa juga terbukti memberikan manfaat signifikan dalam mempercepat respons terhadap bencana di daerah terpencil. Integrasi dengan jaringan internet memungkinkan pengiriman data secara real-time yang dapat diakses melalui perangkat seluler, yang memberikan waktu lebih bagi masyarakat dalam mempersiapkan langkah-langkah pencegahan. Hal ini terutama penting di Indonesia, di mana akses ke alat pendeteksi canggih mungkin terbatas pada wilayah perkotaan. Dengan berbagai kemudahan tersebut, teknologi berbasis Arduino tidak hanya menjadi alat edukasi bagi masyarakat mengenai potensi gempa tetapi juga berkontribusi terhadap peningkatan ketahanan masyarakat Indonesia terhadap bencana alam (Informatika & Purwokerto, 2018).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini memerlukan metode tertentu untuk menganalisis objek penelitian hingga memperoleh hasil atau kesimpulan. Dalam bidang studi yang berkaitan, penelitian diarahkan pada sebuah rancangan atau objek yang relevan dengan program studi, dalam hal ini program studi Pendidikan IPA. Objek penelitian dapat berupa analisis sistem yang sudah ada atau pengembangan sistem baru sebagai bahan penelitian. Dalam pembahasan ini, dipilih metode perancangan sistem, yaitu merancang objek penelitian yang akan dianalisis, diuji, dan diambil kesimpulannya. Topik yang dibahas adalah mengenai proses pembangunan alat elektronik yang berfungsi sebagai pendeteksi gempa bumi, memberikan peringatan dini, dan membantuantisipasi terjadinya bencana tersebut. Struktur alat ini dirancang agar dapat digunakan di rumah-rumah penduduk dengan karakteristik yang sederhana, mudah dioperasikan, terjangkau, dan mampu meminimalkan risiko kecelakaan saat terjadi gempa. Pembahasan lebih lanjut mengenai alat ini akan dijelaskan pada bagian berikutnya.

Penelitian ini menerapkan metode perancangan sistem untuk mengkaji dan mengembangkan alat pendeteksi gempa sebagai upaya mitigasi bencana. Metode ini ditujukan untuk menghasilkan kesimpulan yang sesuai dengan program studi Pendidikan IPA, dengan

menitikberatkan pada pengembangan alat sederhana yang mampu memberikan peringatan dini terhadap gempa. Dalam penelitian ini, fokus utamanya adalah alat pendeteksi gempa berbasis Arduino Uno, yang didesain agar dapat digunakan di rumah-rumah dengan karakteristik yang sederhana, mudah dioperasikan, dan terjangkau. Proses pembuatan alat meliputi perakitan berbagai komponen, seperti papan Arduino Uno, sensor getaran, buzzer, LCD, breadboard, serta kabel jumper dan USB, yang dirangkai secara sistematis untuk mendeteksi getaran.

Tahapan pembuatan dimulai dengan menyiapkan dan merangkai kabel sesuai fungsinya, seperti menghubungkan kabel pada power dan pin digital Arduino serta sensor getaran. Setelah semua komponen tersambung, program untuk mengoperasikan alat dimasukkan ke dalam Arduino, kemudian alat diuji dengan mendekatkannya ke sumber getaran. Saat alat mendeteksi getaran, ia akan mengeluarkan bunyi sebagai penanda adanya aktivitas gempa sehingga dapat digunakan sebagai alat peringatan dini. Metode ini memungkinkan dilakukannya analisis terhadap efektivitas alat dalam merespons situasi darurat, serta potensinya untuk diterapkan secara luas di lingkungan rumah.

Cara kerja alat sensor getar dengan Arduino Uno dimulai dari sensor getar yang peka terhadap getaran atau guncangan. Saat ada getaran, sensor akan bereaksi dan menghasilkan sinyal yang menunjukkan adanya getaran. Sinyal ini kemudian dikirim ke Arduino Uno, yaitu papan mikrokontroler kecil yang bisa memproses data. Ketika Arduino menerima sinyal dari sensor, sinyal tersebut akan berubah sesuai intensitas getaran yang terdeteksi. Selanjutnya, Arduino Uno yang sudah dihubungkan dengan program khusus akan mengatur bagaimana alat ini merespons getaran. Program tersebut dapat membuat Arduino mengaktifkan suara melalui buzzer saat getaran terdeteksi. Sebagai hasil akhir, alat ini akan memberikan tanda berupa bunyi buzzer yang menandakan adanya getaran yang terdeteksi, sehingga pengguna bisa langsung mengetahui bahwa ada perubahan getaran di sekitar alat tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penyebab Getaran Besar di Zona Megathrust

Zona megathrust adalah daerah yang rawan gempa berkekuatan besar karena pergerakan lempeng tektonik yang terkunci dan menumpuk energi dalam waktu lama. Pelepasan energi ini terjadi ketika tekanan mencapai ambang tertentu, menghasilkan gelombang getaran yang kuat. Studi terbaru oleh Kiser and Kehoe (2021) menunjukkan bahwa di zona subduksi seperti Tohoku, tekanan tinggi di area yang terkunci menyebabkan pelepasan energi yang besar dan amplitudo tinggi pada gempa. Penelitian ini mengindikasikan bahwa zona dengan tekanan tinggi ini cenderung lebih rawan gempa yang merusak dibandingkan dengan zona lainnya, karena amplitudo yang dihasilkan sangat tinggi pada fase awal getaran. Indonesia, secara geologi, berada pada zona konvergensi tektonik, di mana tiga lempeng utama dunia bertemu: lempeng Eurasia, lempeng Indo-Australia, dan lempeng Pasifik (Damayanti et al., 2020). Zona pertemuan lempeng ini menghasilkan aktivitas tektonik yang tinggi, yang menjadikan wilayah Indonesia sebagai salah satu daerah paling rawan terhadap aktivitas vulkanik dan seismik di dunia. Akibat dari pertemuan tiga lempeng ini, terbentuklah rangkaian gunung api aktif yang tersebar di sebagian besar wilayah Indonesia. Dengan adanya gunung-gunung api aktif ini, Indonesia menjadi bagian dari Cincin Api Pasifik (Pacific Ring of Fire), yang merupakan zona dengan aktivitas vulkanik dan seismik yang sangat intensif. Hal ini meningkatkan risiko bencana alam seperti letusan gunung api, gempa bumi, dan tsunami yang dapat memengaruhi kehidupan dan infrastruktur penduduk.

Selain faktor geologis, aspek penggunaan lahan oleh manusia turut memengaruhi kerentanan terhadap bencana, terutama tsunami. Perubahan pada lahan pesisir, seperti pembangunan permukiman dan infrastruktur, dapat mengurangi daya tahan alamiah pantai terhadap gelombang besar (Nainitania & Darmawan, 2020). Intervensi manusia ini dapat memperburuk dampak dari bencana yang disebabkan oleh aktivitas tektonik, membuat wilayah pesisir semakin rentan terhadap tsunami yang mungkin terjadi akibat gempa bumi bawah laut. Indonesia memang memiliki potensi yang tinggi terhadap kejadian gempa bumi akibat lokasinya yang berada di pertemuan lempeng tektonik aktif. Data kejadian gempa dalam kurun waktu 2009

hingga 2019 menunjukkan bahwa Indonesia mengalami 71.628 kejadian gempa bumi selama 11 tahun tersebut. Jika dirata-rata, maka terdapat sekitar 6.512 gempa bumi setiap tahunnya, atau sekitar 543 kejadian setiap bulannya, dan 18 kejadian setiap harinya (Hasan & Setyaningsih, 2024). Angka-angka ini menunjukkan betapa tingginya frekuensi gempa bumi di wilayah Indonesia, yang menandakan pentingnya mitigasi dan kesiapsiagaan dalam menghadapi risiko bencana ini. Pengelolaan risiko bencana melalui perencanaan tata ruang, pembangunan infrastruktur tahan gempa, serta edukasi masyarakat menjadi hal yang sangat krusial untuk meminimalisir dampak dari potensi bencana alam yang tinggi di Indonesia.

Identifikasi Getaran Awal Melalui Sensor Seismic

Sistem peringatan dini di Jepang, seperti yang digunakan selama gempa Tohoku 2011, bergantung pada deteksi dini gelombang P. (Kiser & Kehoe, 2021) menunjukkan bahwa sistem ini efektif karena gelombang P dapat mendeteksi getaran awal tanpa menyebabkan kerusakan besar, memberikan waktu untuk mengeluarkan peringatan sebelum gelombang S yang lebih destruktif tiba. Pada percobaan ini, alat simulasi menunjukkan kemampuan untuk mendeteksi perubahan frekuensi dan amplitudo secara sensitif, memungkinkan simulasi yang dapat dimanfaatkan dalam pelatihan mitigasi bencana dan edukasi tentang karakteristik gempa megathrust. Identifikasi getaran gempa bumi penting untuk memahami parameter seperti percepatan tanah maksimum dan intensitas gempa. Metode yang umum digunakan dalam mengukur dan memprediksi risiko gempa adalah metode Gutenberg-Richter, yang menghitung percepatan tanah atau Peak Ground Acceleration (PGA) berdasarkan magnitudo, kedalaman, dan kondisi tanah setempat. Metode ini memungkinkan identifikasi tingkat risiko gempa di suatu wilayah dengan memperkirakan intensitas getaran yang akan dirasakan (Hutasoit et al., 2021). Sistem seismotektonik Indonesia, terutama di Pulau Jawa dan Sumatra, menunjukkan dinamika akibat pertemuan lempeng Eurasia dan Indo-Australia, yang menyebabkan frekuensi dan intensitas gempa yang tinggi di daerah tersebut. Pemantauan getaran yang disebabkan oleh pergerakan lempeng tektonik membantu dalam memitigasi dampak potensial gempa pada infrastruktur dan Masyarakat (Linda et al., 2019).

Pembahasan mengenai identifikasi getaran gempa bumi sering berfokus pada metode yang mengukur percepatan tanah maksimum (*Peak Ground Acceleration*, PGA) dan intensitas gempa untuk mitigasi bencana. Identifikasi getaran berguna untuk memahami dampak gempa, yang bervariasi tergantung pada faktor-faktor seperti kedalaman, magnitudo, serta jenis dan komposisi tanah. Misalnya, penelitian di Kota Semarang menunjukkan bahwa wilayah dengan kepadatan tanah rendah cenderung mengalami percepatan tanah yang lebih besar, yang meningkatkan risiko kerusakan saat terjadi gempa (Koesuma et al., 2022). Pendekatan menggunakan metode Gutenberg-Richter juga banyak diterapkan untuk mengidentifikasi dan menghitung PGA di berbagai lokasi, seperti yang dilakukan di Sumatera Barat, di mana penelitian memanfaatkan data episenter dan hiposenter untuk memperkirakan intensitas getaran dan dampaknya terhadap bangunan (Hutasoit et al., 2021). Sementara itu, penerapan Sistem Informasi Geografis (SIG) dalam pemetaan risiko gempa berdasarkan nilai PGA telah digunakan untuk membantu perencanaan wilayah dan peringatan dini di Indonesia (Atmojo & Muhandhis, 2019).

PGA (*Peak Ground Acceleration*) adalah parameter penting untuk menilai intensitas gempa pada suatu lokasi, yang merepresentasikan percepatan maksimum pada permukaan tanah (HUTAGALUNG & TARIGAN, 2019). Studi-studi menunjukkan bahwa tanah yang padat umumnya mengalami PGA yang lebih rendah, sedangkan tanah aluvial yang lebih lunak memberikan respons getaran lebih besar saat terjadi gempa bumi. Faktor ini menjadi krusial dalam menentukan desain bangunan tahan gempa di Indonesia, yang diatur dalam peta hazard gempa nasional (Koesuma et al., 2022). Beberapa penelitian juga menggunakan pendekatan empiris dengan menghitung percepatan tanah berdasarkan jarak episentral dan kedalaman hiposenter untuk merencanakan struktur bangunan tahan gempa. Data gempa dari BMKG atau lembaga seismologi lainnya biasanya digunakan untuk memvalidasi model prediksi ini dan untuk analisis risiko berdasarkan lokasi geografis dan kondisi tanah (Saputra, 2019).

Pengaruh Frekuensi dan Amplitudo terhadap Intensitas Getaran

Frekuensi dan amplitudo memiliki peran penting dalam menentukan seberapa besar kerusakan yang bisa terjadi pada infrastruktur. Yoshida (2021) mengungkapkan bahwa frekuensi yang lebih tinggi dengan amplitudo besar menyebabkan tekanan lebih besar pada struktur yang tidak tahan gempa. Namun, di Jepang, bangunan yang dirancang sesuai standar tahan gempa menunjukkan kerusakan minimal meskipun gempa Tohoku memiliki intensitas yang signifikan. Temuan ini menunjukkan pentingnya rancangan struktur tahan gempa di daerah yang rawan gempa megathrust, seperti Indonesia. Di Indonesia, upaya untuk meningkatkan ketahanan bangunan terhadap gempa telah dilakukan melalui penetapan Standar Nasional Indonesia (SNI) terkait perencanaan ketahanan gempa. Salah satu standar yang diterapkan adalah SNI 1726:2019, yang mengatur tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non-gedung. Standar ini memberikan panduan dalam merancang bangunan agar mampu menahan beban seismik sesuai dengan kondisi seismotektonik Indonesia (SNI, 2019).

Selain itu, penelitian mengenai distribusi frekuensi gempa dan dimensi fraktal pada seismic gap di Indonesia telah dilakukan untuk memahami karakteristik seismik di berbagai wilayah. Studi ini menekankan pentingnya identifikasi zona seismic gap dalam meningkatkan kewaspadaan dan perencanaan infrastruktur yang lebih baik (Yuliatmoko et al., 2021). Dalam konteks perencanaan struktur tahan gempa, konsep "Strong Column Weak Beam" (SCWB) menjadi salah satu pendekatan yang diterapkan. Pendekatan ini memastikan bahwa kolom memiliki kekuatan lebih besar dibandingkan balok, sehingga saat terjadi gempa, deformasi plastis terjadi pada balok dan bukan pada kolom. Hal ini bertujuan untuk mencegah keruntuhan total bangunan dan memberikan waktu evakuasi yang cukup bagi penghuni. Penerapan konsep SCWB telah terbukti efektif dalam meningkatkan ketahanan bangunan terhadap gempa.

Selain desain struktural, pemahaman mengenai amplifikasi gelombang seismik akibat kondisi geologi lokal sangat penting dalam perencanaan bangunan tahan gempa. Tanah dengan karakteristik tertentu, seperti lapisan sedimen yang tebal atau tanah lunak, dapat memperkuat amplitudo gelombang seismik, yang pada gilirannya meningkatkan risiko kerusakan bangunan. Fenomena ini dikenal sebagai efek amplifikasi lokal, di mana getaran tanah diperkuat oleh kondisi geologi setempat, menyebabkan peningkatan intensitas getaran yang dirasakan di permukaan (Wibowo & Huda, 2020). Analisis kondisi tanah menjadi langkah krusial dalam mengidentifikasi potensi amplifikasi seismik. Metode seperti Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) digunakan untuk menentukan frekuensi dominan dan faktor amplifikasi di suatu lokasi, membantu dalam menilai kerentanan seismik area tersebut (Tanjung et al., 2019). Dengan memahami karakteristik tanah dan potensi amplifikasinya, perencana dapat menerapkan teknik konstruksi yang sesuai, seperti pemilihan fondasi yang tepat atau penggunaan material yang lebih tahan terhadap getaran, guna memitigasi risiko kerusakan akibat gempa. Penerapan teknik konstruksi yang sesuai dengan kondisi geologi lokal menjadi bagian integral dalam perencanaan bangunan tahan gempa. Hal ini mencakup pemilihan desain fondasi yang tepat, penggunaan material konstruksi yang sesuai, serta penerapan sistem struktur yang mampu meredam energi seismik secara efektif. Dengan demikian, kombinasi antara desain struktural yang baik dan pemahaman mendalam mengenai kondisi geologi lokal akan meningkatkan ketahanan bangunan terhadap gempa bumi.

Perbedaan Karakteristik Gelombang P dan S dalam Sistem Peringatan Dini

Zona megathrust menghasilkan dua jenis gelombang utama—gelombang primer (P) dan sekunder (S)—yang berperan dalam menentukan pola kerusakan. Menurut penelitian terbaru, gelombang P lebih cepat dan mencapai permukaan terlebih dahulu, memberikan waktu bagi sistem peringatan dini untuk mengaktifkan peringatan sebelum gelombang S yang lebih merusak tiba. Penelitian menunjukkan bahwa ketika gelombang ini merambat melalui media dengan densitas bervariasi, seperti batuan keras atau lapisan sedimen, kecepatannya akan bervariasi dan dapat meningkatkan intensitas getaran pada lokasi tertentu. Studi lain yang relevan juga menunjukkan bahwa di wilayah dengan struktur lapisan tanah yang bervariasi, gelombang S cenderung memperbesar kerusakan karena perambatan yang melibatkan getaran vertikal dan horizontal yang

lebih kuat. Pemahaman mengenai mekanisme penyebaran gelombang ini dapat membantu dalam menempatkan sensor dengan lebih tepat pada zona risiko tinggi untuk peringatan dini yang lebih efektif (Colombelli & Zollo, 2015).

Sistem pendeteksi gempa sederhana berbasis Arduino memiliki perbedaan utama dibandingkan perangkat deteksi gempa tradisional, seperti seismograf. Menggunakan sensor getaran untuk mendeteksi perubahan intensitas getaran tanah, sistem ini memproses informasi dengan mikrokontroler Arduino Uno, yang kemudian dapat menampilkan hasilnya pada layar LCD atau mengaktifkan buzzer sebagai alarm dini. Keunggulan utama sistem berbasis Arduino adalah kemampuannya mendeteksi lebih cepat dan pada skala kecil, dengan biaya yang lebih rendah dan pemasangan yang mudah di berbagai tempat. Sebaliknya, seismograf tradisional lebih kompleks karena menggunakan prinsip massa dan pegas untuk mendeteksi frekuensi rendah, sehingga lebih cocok untuk penelitian yang membutuhkan akurasi tinggi. Keterbatasan alat Arduino adalah kemampuannya yang terbatas dalam mendeteksi gempa dengan amplitudo sangat kecil dan ketidakmampuan mencatat data dengan detail yang sama seperti seismograf. Selain itu, sistem berbasis Arduino memungkinkan pengaturan sensitivitas yang fleksibel, sehingga dapat disesuaikan dengan kondisi geologis spesifik. Kalibrasi ini membantu membedakan getaran biasa dengan aktivitas seismik yang signifikan. Fitur tambahan lainnya adalah kemampuan integrasi dengan jaringan nirkabel untuk transmisi data secara real-time, yang tidak dimiliki sebagian besar seismograf konvensional. Dengan modifikasi tertentu, perangkat ini bahkan dapat mencatat grafik getaran melalui perangkat lunak seperti Processing di komputer, menjadikannya alat yang ideal untuk keperluan pendidikan dan pemantauan gempa di wilayah berisiko tinggi (Naik, 2020).

Pengaruh Struktur Geologis pada Intensitas Getaran Seismik

Setiap zona megathrust memiliki struktur geologis unik yang mempengaruhi bagaimana energi gempa dirambatkan. Struktur ini mencakup lapisan sedimen, batuan keras, atau zona dengan kelembaban tinggi yang dapat memperkuat atau meredam getaran. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa pada gempa Tohoku, lapisan sedimen yang tebal di area pesisir memperkuat gelombang getaran, yang kemudian menyebabkan kerusakan lebih besar di daerah padat penduduk. Studi ini juga menemukan bahwa variasi struktur lapisan tanah dapat meningkatkan getaran lokal melalui fenomena amplifikasi, yang memperbesar energi gelombang di area tertentu (Colombelli & Zollo, 2015). Struktur geologis suatu wilayah sangat berpengaruh terhadap efek gempa bumi yang dirasakan di permukaan. Pada daerah dengan lapisan tanah yang tidak stabil atau memiliki banyak rekahan dan sesar aktif, intensitas gempa yang dirasakan cenderung lebih tinggi. Selain itu, adanya pergeseran lapisan tanah, terutama pada area dengan karakteristik geologi tertentu, seperti patahan atau sesar, dapat memperbesar risiko gempa (Ansori et al., 2022). Daerah-daerah dengan struktur tanah yang kompleks ini juga cenderung rentan terhadap likuifaksi, yaitu kondisi ketika tanah kehilangan kekuatannya akibat guncangan, sehingga bangunan di atasnya dapat amblas atau tergeser. Fenomena likuifaksi ini sering terjadi pada wilayah dengan kandungan air tinggi dan tanah lepas, yang membuatnya tidak mampu menopang beban ketika terjadi gempa. Dengan menggunakan sistem pendeteksi gempa sederhana berbasis Arduino, pemantauan perubahan aktivitas seismik bisa dilakukan secara lebih ekonomis dan mudah diakses. Teknologi ini memanfaatkan sensor untuk menangkap getaran tanah, sehingga bisa mendeteksi gempa kecil yang sering terjadi sebelum gempa besar melanda. Sistem ini sangat berguna di daerah rawan bencana, terutama sebagai alat edukasi dan pemantauan sederhana untuk memahami aktivitas seismik lokal (Mokodenseho et al., 2023).

Sistem pendeteksi gempa berbasis Arduino bekerja dengan memanfaatkan sensor seperti accelerometer untuk mendeteksi perubahan kecil dalam getaran tanah, yang kemudian dikirimkan sebagai sinyal digital. Arduino Uno yang fleksibel memungkinkan konfigurasi dan pemrograman tambahan untuk meningkatkan akurasi dan sensitivitas sesuai kebutuhan pemantauan. Dalam sistem ini, sensor accelerometer dapat merekam perubahan percepatan pada berbagai sumbu, yang diterjemahkan sebagai sinyal digital dan dianalisis untuk menentukan adanya pergerakan tanah yang signifikan. Penggunaan Arduino sebagai komponen utama juga memungkinkan penambahan

komponen lain seperti modul komunikasi atau LCD untuk memantau data secara real-time. Sistem ini juga bisa diprogram untuk menyesuaikan sensitivitasnya, yang penting terutama di daerah dengan struktur geologis kompleks atau lapisan tanah yang berbeda. Kombinasi sensor dan pemrograman memungkinkan deteksi gempa lebih awal, meskipun keterbatasan dari alat sederhana ini tetap ada, terutama dalam mendeteksi gempa dengan intensitas rendah. Penerapan ini berpotensi besar untuk mitigasi awal di daerah berisiko tinggi dan menjadi bagian dari sistem peringatan dini bencana (Sunan & Gibran, 2019).

Meskipun alat pendeteksi sederhana ini memiliki keunggulan dalam hal biaya dan kemudahan akses, ada beberapa batasan yang perlu diperhatikan. Salah satunya adalah sensitivitas yang kurang optimal dalam mendeteksi gempa dengan intensitas rendah atau jauh dari pusat alat. Sistem ini umumnya memiliki jangkauan terbatas dan rentan terhadap gangguan lingkungan seperti suara atau getaran dari kendaraan yang bisa mengurangi akurasi deteksi. Oleh karena itu, alat ini lebih cocok untuk digunakan sebagai sistem peringatan tambahan atau sebagai alat edukasi bagi masyarakat di daerah rawan gempa. Dengan demikian, penggunaan teknologi Arduino dalam pendeteksian gempa tetap relevan dan bisa menjadi langkah awal dalam meningkatkan pemahaman masyarakat tentang potensi risiko gempa serta pentingnya mengenal struktur geologis wilayah tempat tinggal mereka (Sunan et al., 2021).

KESIMPULAN

Pengembangan sistem deteksi dini runtutan akibat gempa berbasis teknologi sensor getar dan mikrokontroler Arduino Uno dirancang sebagai solusi yang terjangkau dan efektif, khususnya di wilayah rawan gempa seperti Indonesia. Sistem ini memanfaatkan sensor getar yang dapat mendeteksi perubahan intensitas getaran pada bangunan atau tanah, memberikan peringatan dini tentang potensi keruntuhan yang dapat terjadi akibat gempa. Dengan adanya peringatan dini, masyarakat memiliki waktu untuk mengantisipasi dan mengambil langkah-langkah pencegahan guna mengurangi dampak gempa yang lebih besar. Penelitian ini menunjukkan bahwa teknologi berbasis Arduino Uno sangat mudah diterapkan dan menawarkan solusi yang lebih praktis serta ekonomis dibandingkan dengan alat deteksi gempa konvensional. Potensi besar dari teknologi ini terlihat terutama di daerah pedesaan atau wilayah terpencil yang kurang memiliki infrastruktur deteksi gempa canggih. Sistem ini diharapkan dapat meningkatkan kesiapsiagaan masyarakat terhadap bencana, memberikan informasi yang lebih cepat dan akurat dalam menghadapi gempa bumi. Dengan penerapan sistem deteksi dini yang lebih murah dan efisien, diharapkan risiko korban jiwa dan kerugian materi dapat diminimalkan secara signifikan. Meskipun demikian, penelitian ini juga menyarankan agar teknologi ini terus dikembangkan dan disempurnakan, terutama dalam hal akurasi dan jangkauan deteksi untuk memastikan efektivitasnya dalam berbagai kondisi. Secara keseluruhan, implementasi sistem ini berpotensi besar dalam memperkuat ketahanan masyarakat Indonesia terhadap ancaman bencana gempa bumi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ansori, A. L., Indonesia, U. I., Artati, H., & Indonesia, U. I. (2022). *Prokons : Jurnal Teknik Sipil Analisis Potensi Likuifaksi Akibat Gempa Bumi Berdasarkan Data Insitu Test Menggunakan Metode Prokons : Jurnal Teknik Sipil*. June. <https://doi.org/10.33795/prokons.v15i2.349>
- Atmojo, S., & Muhandhis, I. (2019). Sistem Informasi Geografis Bencana Gempa Bumi dengan Pendekatan PGA Untuk Mitigasi Bencana. *Jurnal Ilmiah Edutic : Pendidikan Dan Informatika*, 6(1), 10–14.
- Colombelli, S., & Zollo, A. (2015). Fast determination of earthquake magnitude and fault extent from real-time P-wave recordings. *Geophysical Journal International*, 202(2), 1158–1163. <https://doi.org/10.1093/gji/ggv217>
- Damayanti, C., Yamko, A. K., Souisa, C. J., Barends, W., & Naroly, I. L. P. T. (2020). Pemodelan Segmentasi Mentawai-Pagai: Studi Kasus Gempa Megathrust di Indonesia. *Jurnal Geosains Dan Remote Sensing*, 1(2), 105–110. <https://doi.org/10.23960/jgrs.2020.v1i2.56>

- Effendi, R., Kania, R., & Muhammad, M. (2021). Rancang Bangun Pendeteksi Getaran Gempa Berbasis Mikrokontroler Iot Arduino. *Journal of Innovation And Future Technology (IFTECH)*, 3(2), 41–55. <https://doi.org/10.47080/iftech.v3i2.1533>
- Chifari, A., Murti, M. A., & Nugraha, R. (2018). Perancangan Alat Pendeteksi Gempa Menggunakan Sensor Accelerometer Dan Sensor Getar. *Proceeding of Engineering*, 5(3), 4028–4035. <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/8134/8030>
- Hasan, I., & Setyaningsih, W. (2024). Mitigasi Pra Bencana Tsunami Akibat Gempa Megathrust di Pesisir Kabupaten Cilacap. *Geo-Image Journal H*, 13(1), 36–43.
- Hutagalung, M., & Tarigan, S. D. (2019). Analisis Potensi Likuifaksi Akibat Gempa (Studi Kasus : Reklamasi Pelabuhan Kontainer Belawan Fase-2). *Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil (JRKMS)*, 2(1), 15–34. <https://doi.org/10.54367/jrkms.v2i1.433>
- Hutasoit, E. Y., Dewi, I. K., & Farid, F. (2021). Identifikasi Percepatan Tanah Maksimum dan Intensitas Gempa Bumi di Sumatra Barat Menggunakan Metode Gutenberg-Richter. *Jurnal Geocelebes*, 5(2), 144–158. <https://doi.org/10.20956/geocelebes.v5i2.14056>
- Informatika, T., & Purwokerto, A. B. S. I. (2018). Pembuatan Alat Pendeteksi Gempa Menggunakan. *Jurnal Evolusi*, 6(1), 61–67.
- Kiser, E., & Kehoe, H. (2021). The hazard of coseismic gaps: The 2021 Fukushima earthquake. *Geophysical Journal International*, 227(1), 54–57. <https://doi.org/10.1093/gji/ggab208>
- Koesuma, S., Fajrin, V., & Sunardi, B. (2022). Identifikasi Zona Bahaya Gempa Bumi Berdasarkan Percepatan Tanah Maksimum Di Kota Semarang. *Indonesian Journal of Environment and Disaster*, 1(2), 65–72. <https://doi.org/10.20961/ijed.v1i2.428>
- Linda, L., Ihsan, N., & Palloan, P. (2019). Analisis Distribusi Spasial Dan Temporal Seismotektonik Berdasarkan Nilai B-Value Dengan Menggunakan Metode Likelihood Di Pulau Jawa. *Jurnal Sains Dan Pendidikan Fisika*, 15(1), 16–31. <https://doi.org/10.35580/jspf.v15i1.9403>
- Mokodenseho, S., Hasrullah, Mokodompit, M., Salinsehe, J., & Papatungan, N. (2023). Analisis Geologis Gempa di Cianjur : Karakteristik Seismik, Zona Patahan, dan Peran Geologi dalam Penilaian Risiko Gempa. *Jurnal Geosains West Science*, 1(02), 96–104. <https://doi.org/10.58812/jgws.v1i02.420>
- Naik, G. S. (2020). Arduino Based Earthquake Detector using Accelerometer. *International Journal of Advanced Research in Electrical*, 7(7), 2003–2008.
- Nainitania, R., & Darmawan, D. (2020). Analisis Zona Genangan Tsunami Akibat Gempa Bumi Megathrust Di Selatan Pulau Jawa. *Jurnal Ilmu Fisika Dan Terapannya (JIFTA)*, 20–26.
- Ningtyas, D. P., & Risina, D. F. (2018). Pengembangan Permainan Sirkuit Mitigasi Bencana Gempa Bumi Untuk Meningkatkan Self Awareness Anak Usia Dini. *Jurnal Caksana : Pendidikan Anak Usia Dini*, 1(02), 172–187. <https://doi.org/10.31326/jcpaud.v1i02.198>
- Saputra, A. R., Djayus, D., & ... (2019). Pemetaan Daerah Rawan Kerusakan Akibat Gempa Bumi Di Wilayah Kota Palu Tahun 2000-2018 Berdasarkan Nilai Percepatan Tanah Maksimum. *Jurnal Geosains Kutai Basin*, 2(1979), 1–7. <https://doi.org/https://semnas.biologi.fmipa.unp.ac.id/index.php/prosiding/article/download/169/289>
- SNI, 1726:2019. (2019). perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi , pemeliharaan dan penilaian kelayakan dan bangunan gedung dan nongedung sebagai revisi struktur bangunan gedung dan nongedung ; Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun. *Badan Standardisasi Nasional*, 8, Herman Kurnianto, D., Teoretis dan Terapan Bidan.
- Sunan, H. L., & Gibran, A. K. (2019). Analisis Jenis Struktur Geologi Implikasinya Terhadap Bencana Longsor Daerah Kandangserang Kecamatan Kandangserang Kabupaten Pekalongan Jawa Tengah. *Prosiding Seminar Nasional Dan Call for Papers "Pengembangan Sumber Daya Perdesaan Dan Kearifan Lokal Berkelanjutan IX" 19- 20 November 2019 Purwokerto*, 9(1), 75–81.

- Sunan, H. L., Gibran, A. K., Aditama, M. R., Iswahyudi, S., Widiatmoko, F. R., Widagdo, A., & Laksono, F. A. T. (2021). Interpretasi Struktur Geologi Berdasarkan Fault Fracture Density (FFD) dan Implikasinya Terhadap Potensi Likuefaksi di Daerah Kalibening, Kabupaten Banjarnegara, Jawa Tengah. *Eksplorium*, 42(1), 47. <https://doi.org/10.17146/eksplorium.2021.42.1.6129>
- Tanjung, N. A. F., Yuniarto, H. P., & Widyawarman, D. (2019). Analisis Amplifikasi Dan Indeks Kerentanan Seismik Di Kawasan Fmipa Ugm Menggunakan Metode HVSR. *Jurnal Geosaintek*, 5(2), 60. <https://doi.org/10.12962/j25023659.v5i2.5726>
- Utomo, D. P., & Purba, B. (2019). Penerapan Datamining pada Data Gempa Bumi Terhadap Potensi Tsunami di Indonesia. *Prosiding Seminar Nasional Riset Information Science (SENARIS)*, 1(September 2019), 846. <https://doi.org/10.30645/senaris.v1i0.91>
- Wibowo, N. B., & Huda, I. (2020). Analisis Amplifikasi, Indeks Kerentanan Seismik Dan Klasifikasi Tanah Berdasarkan Distribusi Vs30 D.I.Yogyakarta Analysis Of Amplification, Seismic Vulnerability Index And Soil Clasification Based On Vs30 In Yogyakarta. *Buletin Meteorologi, Klimatologi, Dan Geofisika*, 1(2), 21–31.
- Yoshida, K. (2021). Detection of temporal change in near-source attenuation during intense fluid-driven seismicity following the 2011 Tohoku-Oki earthquake. *Geophysical Journal International*, 224(1), 138–150. <https://doi.org/10.1093/gji/ggaa421>
- Yuliatmoko, R. S., Perdana, Y. H., & Martha, A. A. (2021). Distribusi Frekuensi Gempabumi Dan Dimensi Fraktal Pada Seismik Gap Di Indonesia Earthquake Frequency-Magnitude Distribution and Fractal Dimension on Seismic Gap in Indonesia. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 22(2), 55–66.
- Zainal Abidin, M. Bimo Cahyo Pratomo³, & Gustini². (2017). *Makalah_AVOER_9 - _Zainal_Abidin_dan_Gustini. November*, 1–9.