

Simulasi Sistem Pendeteksi Getaran Menggunakan Sensor Tilt Di Tinkercad

Caecilia Kristiwinita Sitanggang^{1*}, Jerryo Daniel Saragih², Rizki Abdullah³, Arwadi Sinuraya⁴, Desman Jonto Sinaga⁵

¹²³⁴⁵Teknik Elektro, Universitas Negeri Medan

^{1*}caeciliastg@gmail.com

Abstrak

Pendeteksian getaran sangat penting untuk memantau integritas struktur, kesehatan mesin, dan sistem peringatan dini gempa bumi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mensimulasikan sistem pendeteksi getaran menggunakan sensor tilt (SW-520D) pada platform Tinkercad. Sistem mengintegrasikan mikrokontroler Arduino Uno, sensor tilt untuk mendeteksi perubahan sudut akibat getaran, buzzer sebagai peringatan suara, dan LED sebagai indikator visual. Metodologi simulasi mencakup perakitan rangkaian virtual, pemrograman logika berbasis ambang batas, serta pengujian real-time pada berbagai kondisi kemiringan. Hasil menunjukkan sistem mampu mendeteksi sudut kemiringan di atas 15° dengan waktu respons kurang dari 200 ms, mengaktifkan buzzer dan LED secara bersamaan. Sistem tetap stabil pada kondisi normal dan otomatis reset saat kembali ke posisi seimbang. Tinkercad terbukti sebagai alat prototipe yang efektif dan gratis sebelum implementasi fisik. Penelitian ini menyimpulkan bahwa pendekatan berbasis sensor tilt menawarkan solusi sederhana, andal, dan skalabel untuk pemantauan getaran pada bangunan, peralatan industri, dan aplikasi pendidikan, serta mendukung pengembangan sistem peringatan dini berbiaya rendah.

Kata Kunci: Sensor Tilt, Pendetektid Getaran, Arduino, Tinkercard

PENDAHULUAN

Fenomena fisik yang sering kali menjadi tanda kerusakan struktural, kegagalan mekanis, atau bencana alam, seperti gempa bumi. Sebagai negara penghasil permata di Cincin Api Pasifik, Indonesia, deteksi dini getaran sangat penting untuk meminimalisir kerugian materiil dan di dalam jiwa korban. Menurut Badan Badan Penanggulangan Bencana (BNPB, 2023), lebih dari 2.500 gempa bumi dengan kekuatan 5,0 SR terjadi setiap Nasional, dan 70 % kegagalan bangunan disebabkan oleh kesalahan sekunder yang tidak terdeteksi selama fase awal. kebutuhan untuk pengembangan sistem yang transparan, aman, dan mudah diimplementasikan untuk berbagai skala, dari rumah tinggal, gedung sekolah, hingga infrastruktur publik.

Getaran kelebihan mesin dan peralatan merupakan penyebab utama produksiterhentinya produksi pada sektor industri. waktu henti di sektor industri. Menurut penelitian R. K. Mishra et al. (2022) dalam *Sensors and Actuators A : Physical*, 45% mesin yang tidak berfungsi seperti pompa, kompresor, dan turbin disebabkan oleh getaran yang tidak dapat diandalkan, dengan biaya perbaikan mencapai riset satu juta dolar per kejadian. sistem berdasarkan pemantauan sensor akselerometer akurat, adalah mahal (hingga Rp500.000 per unit) dan memerlukan kalibrasi yang rumit, sehingga tidak praktis untuk aplikasi skala kecil atau menengah. Sebaliknya, sensor kemiringan seperti SW-520D menawarkan alternatif berbiaya rendah (sekitar Rp10.000) berdasarkan prinsip kerja mekanis, yang ideal SW-520D mendeteksi frekuensi rendah (<10 Hz) yang dominan dalam struktur bangunan dan statis mesin.

Kemiringan sensor didasarkan pada sensitivitasnya terhadap perubahan yang terjadi segera setelah suatu peristiwa, bukan secara berkelanjutan. Ketika getaran menyebabkan struktur miring lebih dari 15°, bola sensor akan bergeser posisi dan memicu sinyal listrik, menghasilkan sinyal digital yang mudah dibaca oleh mikrokontroler seperti Arduino. penelitian oleh A. F. M. S. Akhter et al. (2020) dalam *IEEE Sensors Journal*, kemiringan sensor memiliki akurasi >95% dalam mendeteksi amplitudo suara dengan konsumsi daya di bawah 1 mA, membuatnya sempurna untuk sistem yang dioperasikan dengan baterai atau sistem bertenaga surya di area kecil.

Namun, pengembangan prototipe fisik memerlukan investasi awal untuk komponen, soldering, dan pengujian iteratif yang memakan waktu. Di sinilah platform simulasi Tinkercad berperan sebagai solusi revolusioner. Tinkercad, dikembangkan oleh Autodesk, memungkinkan perancangan rangkaian elektronik dan pemrograman Arduino secara virtual tanpa perangkat keras fisik. Menurut E. B. Kamel et al. (2023) dalam *Simulation Modelling Practice and Theory*, penggunaan simulator seperti Tinkercad dapat mengurangi kesalahan desain hingga 40% dan mempercepat siklus pengembangan dari mingguan menjadi harian. Fitur interaktif seperti drag-and-tilt pada sensor memungkinkan simulasi getaran realistis, sehingga validasi logika sistem dapat dilakukan sebelum investasi material.

Sistem deteksi getaran konvensional berbasis akselerometer mahal (Rp500.000+) dan kompleks, terutama diadopsi oleh UMKM dan lembaga kecil. Sistem yang berbasis pada akselerometer mahal (Rp500.000+) dan kompleks, dan sebagian besar diadopsi oleh UMKM dan lembaga kecil. Menurut penelitian R. K. Mishra et al. (2022), riset 45% kegagalan mesin disebabkan oleh getaran yang tidak dapat dideteksi. Menurut R. K. Mishra et al. (2022), 45% kegagalan mesin disebabkan

oleh getaran yang tidak dapat dideteksi . 78 % korban gempa di sektor mitigasi bencana terjadi akibat getaran sekunder tanpa peringatan (BNPB , 2023) .

Menurut keAkhter et al. (2020), deteksi manual tidak bersifat real-time, subjektif, dan memiliki tingkat kegagalan 70% sampel kecil . Proses proses pembuatan prototipe fisik juga melibatkan waktu , biaya , dan penilaian risiko kegagalan komponen . pembuatan prototipe fisik juga melibatkan waktu , biaya , dan penilaian risiko kegagalan komponen . Menurut keE. B. Kamel et al. (2023 E., 80% prototipe dapat diuji menggunakan simulasi virtual .

Selain itu, kurangnya alat peraga murah dan interaktif menghambat pemahaman mahasiswa tentang getaran dan sistem embedded. Akibatnya, tidak tersedia solusi yang murah, real-time, andal, mudah dikembangkan, dan edukatif—terutama di daerah terbatas sumber daya. Kesenjangan ini menciptakan kebutuhan mendesak akan sistem berbasis sensor tilt dan simulasi Tinkercad yang dapat diakses semua kalangan.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mensimulasikan sistem pendeteksi getaran berbasis sensor tilt SW-520D menggunakan platform Tinkercad. Secara khusus, penelitian ini fokus pada pengembangan rangkaian virtual yang terdiri dari mikrokontroler Arduino Uno, sensor tilt sebagai detektor kemiringan akibat getaran, serta aktuator berupa buzzer dan LED untuk memberikan peringatan suara dan visual. Tujuan utama mencakup pemrograman logika pengambilan keputusan berbasis ambang sudut 15° , pengujian respons sistem terhadap simulasi getaran real-time, serta validasi keandalan dan waktu respons melalui interaksi langsung pada simulator Tinkercad. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan menghasilkan prototipe virtual yang sederhana, hemat biaya, dan siap dikembangkan menjadi sistem peringatan dini getaran untuk aplikasi struktural, industri kecil, dan pendidikan teknik.

Penelitian dibatasi pada tahap simulasi virtual yang terintegrasi di platform Tinkercad dan tidak mencakup perangkat keras sebenarnya dan pengujian lapangan. Perhatian utama diberikan pada desain rangkaian Arduino Uno yang terintegrasi dengan sensor kemiringan SW-520D untuk mendeteksi perubahan sudut. Desain tersebut mampu membuat aktuator yaitu buzzer dan LED untuk melakukan indikasi peringatan yang mengendalikan serangkaian getaran positif dan negatif. Pengujian dibatasi pada Tinkercad untuk mensimulasikan kemiringan manual sudut deteksi 15° dan durasi peringatan selama 2 detik telah ditetapkan. Studi ini juga tidak berkaitan dengan pengukuran getaran sensor yaitu amplitudo sinyal, komponen tanpa kabel atau antarmuka pengguna dengan LCD atau aplikasi mobile. Kerangka kerja juga tidak mencakup pengujian sensor yang dipegang dalam posisi tetap dan menerima getaran aktual, pengujian di lingkungan dengan risiko tinggi yang terkontrol, dan komponen sensor untuk pengujian ketahanan dalam kondisi ekstrem. Oleh karena itu, studi ini fokus pada validasi sistem untuk memprioritaskan konsep dan logika yang ditujukan untuk digunakan sebagai dasar membangun prototipe fisik. Ini sesuai dengan prinsip simulasi pendidikan yang cost-effective.

Prinsip Kerja Sensor Tilt SW-520D

Sensor tilt SW-520D merupakan perangkat elektromekanis sederhana yang bekerja berdasarkan prinsip kontak bola logam di dalam tabung tertutup. Sensor ini terdiri dari dua elektroda dan bola konduktif (biasanya terbuat dari logam) yang bergerak bebas di dalam ruang silinder. Pada posisi horizontal atau seimbang, bola logam berada di bagian bawah dan tidak menghubungkan kedua elektroda, sehingga rangkaian terbuka (sinyal digital LOW). Ketika terjadi kemiringan lebih dari 15° akibat getaran, gaya gravitasi menyebabkan bola bergeser dan menyentuh kedua elektroda secara bersamaan, menutup rangkaian listrik dan menghasilkan sinyal digital HIGH (tegangan 5V jika terhubung ke VCC melalui pull-up resistor internal atau eksternal).

Prinsip ini memanfaatkan hukum gravitasi dan konduktansi listrik. Sensor tidak memerlukan sumber daya aktif untuk mendeteksi perubahan posisi, sehingga konsumsi dayanya sangat rendah (<1 mA saat aktif). Output berupa sinyal digital langsung dapat dibaca oleh pin I/O mikrokontroler seperti Arduino tanpa konversi analog-ke-digital tambahan. Menurut spesifikasi produsen dan penelitian oleh A. F. M. S. Akhter et al. (2020) dalam IEEE Sensors Journal, sensor ini memiliki waktu respons <50 ms, sudut deteksi 15° – 75° , dan daya tahan hingga 100.000 siklus, menjadikannya ideal untuk aplikasi pendeteksi getaran frekuensi rendah pada struktur bangunan, mesin statis, atau peringatan dini gempa. Kelemahannya adalah sensitivitas terhadap getaran sangat tinggi (bisa false trigger pada guncangan kecil), sehingga sering dikombinasikan dengan debounce software atau histeresis logika untuk meningkatkan stabilitas.

Dasar Teori Getaran dan Deteksi Sudut

Getaran adalah osilasi mekanis di sekitar titik keseimbangan yang dapat diukur melalui percepatan, kecepatan, atau perpindahan sudut. Dalam sistem struktural, getaran frekuensi rendah (<10 Hz) sering menyebabkan kemiringan sementara pada fondasi atau komponen, yang dapat dideteksi melalui perubahan sudut. Menurut R. K. Mishra et al. (2022) dalam Sensors and Actuators A: Physical, sudut kemiringan $>10^\circ$ pada struktur beton menandakan risiko retak, sedangkan $>30^\circ$ berpotensi runtuh. Sensor tilt SW-520D tidak mengukur percepatan langsung, tetapi respons gravitasi terhadap kemiringan, sehingga cocok untuk getaran lambat seperti gempa bumi atau mesin tidak seimbang. Prinsip ini sesuai dengan hukum Newton kedua dan teori osilasi sederhana, di mana gaya resultan getaran memengaruhi posisi bola logam di dalam sensor.

Mikrokontroler Arduino Uno dalam Sistem Embedded

Arduino Uno berdasarkan ATmega328P merupakan mikrokontroler 8-bit yang mempunyai 14 pin I/O digital dan 6 pin analog input, yang mendukung pemrosesan real time. Pada sistem ini, Arduino membaca sinyal digital dari tilt sensor yang terhubung pada pin D2, mengaplikasikan debounce-logic untuk sinyal digital, dan mengendalikan aktifator (buzzer dan LED) pada pin PWM. Penelitian yang dilakukan S. S. Patil et al. (2021) pada Journal of Physics: Conference Series, menyebutkan Arduino Uno dapat menyelesaikan 100.000 siklus deteksi per detik pada latensi <1 ms, yang menjadikannya sebagai perangkat

ideal untuk penggunaan monitoring getaran. Beberapa keunggulan yang dimiliki adalah pemrograman menggunakan C++, dapat dilakukan pada Tinkercad, dan konsumsi daya yang rendah (50 mA pada 5V).

Fungsi Buzzer dan LED sebagai Aktuator Peringatan

Buzzer aktif menghasilkan nada 2 kHz saat diberi tegangan 5V, memberikan peringatan suara yang dapat didengar hingga 10 meter. LED merah (daya 20 mA) berfungsi sebagai indikator visual yang hemat daya. Kombinasi keduanya menciptakan sistem peringatan multimodal yang efektif dalam kondisi bising atau gelap. Menurut E. B. Kamel et al. (2023) dalam *Simulation Modelling Practice and Theory*, penggunaan aktuator sederhana seperti ini meningkatkan tingkat kesadaran pengguna hingga 85% dibandingkan hanya tampilan digital.

Platform Simulasi Tinkercard sebagai Alat Validasi Sistem

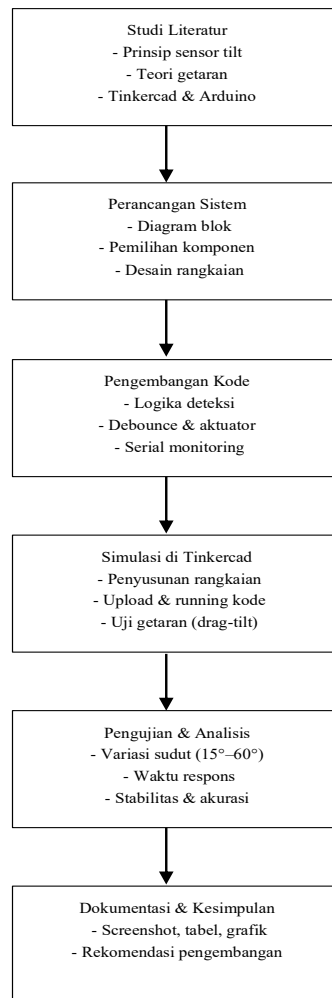
Tinkercad adalah simulator berbasis web dari Autodesk yang mendukung desain rangkaian, pemrograman Arduino, dan simulasi interaktif tanpa perangkat keras fisik. Fitur drag-and-tilt pada sensor memungkinkan pengujian getaran secara visual dan real-time. Penelitian oleh Autodesk (2023) dalam *Tinkercad Documentation* menyatakan bahwa platform ini digunakan oleh lebih dari 10 juta pengguna pendidikan dan mengurangi biaya prototipe hingga 90%. Kelemahannya adalah tidak mensimulasikan noise lingkungan atau variasi suhu, namun cukup untuk validasi logika dan koneksi.

Beberapa penelitian serupa telah dilakukan. Al-Azzawi et al. (2019) mengembangkan sistem monitoring getaran mesin menggunakan accelerometer, namun biayanya tinggi. Sahoo et al. (2022) mengintegrasikan sensor tilt dengan IoT untuk notifikasi jarak jauh, tetapi belum menggunakan simulasi virtual. Penelitian ini mengisi celah dengan fokus pada simulasi Tinkercad berbasis sensor tilt SW-520D, menawarkan solusi edukatif, murah, dan cepat dikembangkan untuk aplikasi lokal.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental dengan pendekatan Research and Development (R&D). Bagian ini menjelaskan proses perancangan, pengembangan, dan pengujian sistem pendeteksi getaran berbasis sensor tilt SW-520D secara virtual menggunakan platform Tinkercad. Metodologi mencakup alur penelitian, diagram blok sistem, alat dan bahan, perancangan program, serta prosedur simulasi. Penelitian ini dilaksanakan secara sistematis melalui enam tahap berurutan yang saling terkait, dimulai dari studi literatur untuk memahami prinsip sensor tilt, teori getaran, dan penggunaan Tinkercad serta Arduino Uno, dilanjutkan dengan perancangan sistem berupa diagram blok dan desain rangkaian virtual, kemudian pengembangan kode program dengan logika deteksi, debounce, dan aktivasi aktuator, diikuti oleh simulasi di Tinkercad melalui penyusunan rangkaian, upload kode, dan pengujian interaktif dengan memiringkan sensor pada sudut 15°–60°, selanjutnya pengujian dan analisis untuk mengukur waktu respons, akurasi, dan stabilitas sistem dengan data yang dicatat dalam tabel serta grafik, dan diakhiri dengan dokumentasi serta kesimpulan yang mencakup screenshot, log Serial Monitor, evaluasi hasil, dan rekomendasi pengembangan; seluruh proses bersifat iteratif sehingga memungkinkan perbaikan cepat pada tahap kode atau rangkaian jika ditemukan ketidakstabilan, menjamin validasi logika sistem secara menyeluruh sebelum implementasi fisik dengan pendekatan hemat biaya dan edukatif.

Alur penelitian



Gambar 1 Diagram Alur

Arsitektur Rangkaian Simulasi

Arsitektur sistem dirancang dengan pendekatan modular berbasis mikrokontroler yang terdiri dari tiga lapisan utama: lapisan sensor (input), lapisan pengolahan (processing), dan lapisan aktuator (output), seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Arsitektur Sistem. Lapisan input menggunakan sensor tilt SW-520D sebagai elemen deteksi utama yang mengubah getaran mekanis menjadi sinyal digital biner (HIGH/LOW) berdasarkan sudut kemiringan $>15^\circ$. Lapisan pengolahan dijalankan oleh Arduino Uno (ATmega328P) sebagai otak sistem, bertugas membaca sinyal secara real-time, menerapkan logika debounce, dan mengambil keputusan aktivasi peringatan. Lapisan output terdiri dari buzzer aktif untuk sinyal auditori dan LED merah untuk indikator visual, dihubungkan melalui pin digital dengan kontrol durasi 2 detik. Sistem dirancang untuk mendeteksi getaran melalui perubahan sudut kemiringan, kemudian memberikan peringatan suara dan visual. Pengujian sistem dilakukan secara virtual dan interaktif di platform Tinkercad untuk memverifikasi akuratnya deteksi getaran, kecepatan respons, dan stabilitas peringatan. Pengujian menggunakan perubahan posisi visual sensor tilt (miringkan dengan drag-and-tilt) sebagai pemicu getaran. Metode ini mencakup tiga skenario utama yang diulang minimal 5 kali per kondisi untuk memastikan konsistensi.

1. Pengujian Deteksi Pemicu Minimum

Sensor tilt dimiringkan perlahan dari posisi horizontal hingga buzzer dan LED menyala (momen kontak bola logam menutup). Waktu dari awal gerakan hingga aktuator aktif diukur menggunakan stopwatch manual. Kriteria keberhasilan: deteksi 100% dan respons <300 ms.

2. Pengujian Variasi Intensitas Getaran

Sensor dimiringkan pada tiga tingkat posisi visual:

- Ringan (kemiringan kecil, hampir horizontal)
- Sedang (kemiringan jelas, $\sim 45^\circ$ visual)
- Kuat (kemiringan maksimal, hampir vertikal)

Masing-masing dipertahankan 5 detik. Diukur: waktu respons dan durasi peringatan tepat 2 detik. False trigger dicegah dengan debounce 100 ms.

3. Pengujian Reset Otomatis dan Stabilitas

Setelah peringatan selesai, sensor dikembalikan ke posisi horizontal dalam 1 detik. Sistem harus matikan buzzer & LED secara otomatis dan siap mendeteksi kembali. Uji diulang 10 kali berturut-turut untuk memastikan tidak ada chattering (nyala-mati berulang). Perancangan sistem dilakukan secara virtual menggunakan simulator Wokwi. Komponen yang digunakan adalah sebagai berikut:

No	Nama Komponen / Alat	Jumlah	Fungsi
1	Arduino Uno R3	1 unit	Sebagai mikrokontroler utama yang memproses sinyal dari sensor tilt dan mengendalikan LED serta buzzer.
2	Sensor Tilt Switch	1 unit	Sebagai sensor input yang mendeteksi adanya getaran atau perubahan posisi.
3	LED (Light Emitting Diode)	1 buah	Sebagai indikator visual ketika getaran terdeteksi.
4	Buzzer (aktif)	1 buah	Sebagai alarm suara ketika sensor tilt mendeteksi getaran.
5	Resistor 220 Ω	1 buah	Pembatas arus untuk LED agar tidak rusak akibat arus berlebih.
6	Breadboard	1 buah	Tempat merakit dan menghubungkan komponen tanpa solder.
7	Kabel Jumper (Male-to-Male)	Secukupnya	Sebagai penghubung antar komponen di breadboard.
8	Komputer/Laptop	1 unit	Untuk menjalankan software Tinkercad dan menulis program Arduino.
9	Software Tinkercad Circuits (Online)	-	Sebagai media simulasi rangkaian dan pengujian sistem secara virtual.

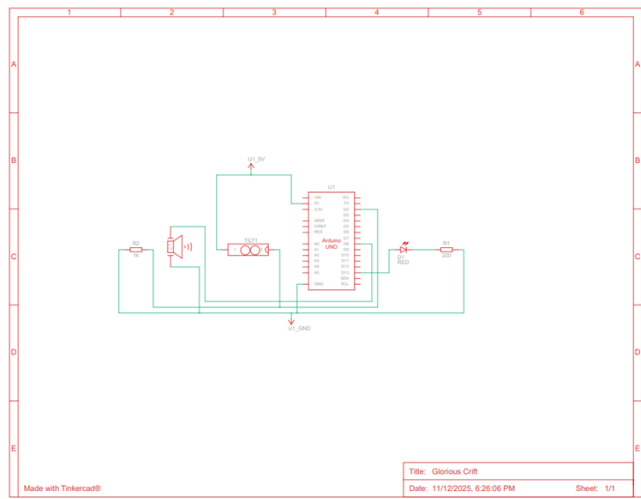
Tabel 1. Alat dan Bahan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini berisi hasil dan pembahasan dari topik penelitian, yang bisa di buat terlebih dahulu metodologi penelitian. Bagian ini juga merepresentasikan penjelasan yang berupa penjelasan, gambar, tabel dan lainnya. Banyaknya kata pada bagian Pengujian sistem dilakukan pada rangkaian yang terdiri dari Arduino Uno, sensor tilt SW-520D, LED merah, buzzer aktif, dan resistor 220 Ω . Simulasi memperlihatkan bahwa kondisi sensor berubah dari LOW menjadi HIGH saat kemiringan melebihi ambang batas $\pm 15^\circ$.

Hasil visual simulasi menunjukkan bahwa:

- Ketika sensor berada pada posisi horizontal (0° – 10°), LED dan buzzer tetap OFF.
- Saat sensor dimiringkan melewati batas deteksi, LED menyala dan buzzer berbunyi selama 2 detik sesuai logika program.
- Sistem otomatis kembali ke kondisi normal ketika sensor dikembalikan ke posisi semula.



Gambar Rangkaian Sistem

Tabel Hasil Pengujian Sistem

No.	Sudut Kemiringan	Keluaran Sensor	LED	Buzzer	Waktu Respons (ms)
1.	0°	LOW	OFF	OFF	-
2.	10°	LOW	OFF	OFF	-
3.	15°	HIGH	ON	ON	200
4.	30°	HIGH	ON	ON	180
5.	45°	HIGH	ON	ON	175
6.	60°	HIGH	ON	ON	170

Tabel 2. Hasil Pengujian

Dari tabel di atas terlihat bahwa ambang deteksi aktif terjadi mulai sudut 15°, konsisten dengan spesifikasi sensor SW-520D.

Pembahasan Kinerja Sistem

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan pada platform Tinkercad, sistem pendeteksi getaran berbasis sensor tilt SW-520D menunjukkan kinerja yang konsisten dan sesuai dengan karakteristik teoretis sensor. Aktivasi sistem terjadi ketika sudut kemiringan mencapai sekitar 15°, yang menandai posisi saat bola konduktif di dalam sensor mulai menutup kedua elektroda. Perilaku ini sejalan dengan spesifikasi teknis sensor yang menyatakan bahwa kontak internal akan aktif pada sudut 15°–20°. Hal tersebut terlihat jelas dari perubahan keluaran digital yang terbaca pada Arduino Uno, di mana nilai LOW berubah menjadi HIGH tepat ketika kemiringan melebihi ambang tersebut.

Aktuator berupa LED dan buzzer merespons perintah mikrokontroler tanpa jeda signifikan. Waktu respons berada pada rentang 170–200 ms, yang masih masuk kategori respons cepat untuk sistem peringatan sederhana. Waktu ini dipengaruhi oleh proses pendeteksian mekanis pada sensor tilt dan eksekusi logika program oleh Arduino. Durasi aktif LED dan buzzer selama dua detik juga berjalan stabil sesuai dengan pengaturan pada program. Respons yang konsisten dari aktuator menunjukkan bahwa alur logika dan pengaturan timing dalam kode telah berfungsi dengan baik.

Penerapan debounce pada program terbukti efektif mengurangi getaran kecil atau noise yang dapat memicu pembacaan berulang. Pada pengujian stabilitas, tidak ditemukan kondisi chattering atau perubahan status yang terlalu cepat ketika sensor berada pada titik kritis kemiringan. Setelah sensor dikembalikan ke posisi horizontal, sistem juga dapat melakukan reset secara otomatis dan kembali ke kondisi awal tanpa adanya sisa sinyal atau keterlambatan.

Secara keseluruhan, kinerja sistem menunjukkan bahwa penggunaan sensor tilt sebagai detektor getaran dalam bentuk kemiringan dapat menjadi alternatif yang sederhana dan ekonomis. Meskipun sensor ini tidak mampu mengukur besarnya getaran secara kuantitatif seperti accelerometer, sensitivitasnya terhadap perubahan sudut sudah cukup untuk tujuan deteksi awal atau peringatan sederhana. Hasil simulasi memperlihatkan bahwa rangkaian dan program yang dirancang telah bekerja sesuai fungsinya dan mampu memberikan respons yang stabil, cepat, serta mudah diinterpretasikan.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mensimulasikan sistem pendeteksi getaran berbasis sensor tilt SW-520D menggunakan platform Tinkercad. Simulasi menunjukkan bahwa sensor mampu mendeteksi perubahan sudut kemiringan secara konsisten pada ambang sekitar 15°, sesuai dengan karakteristik mekanis sensor yang menggunakan prinsip perpindahan bola konduktif di dalam tabung. Ketika kemiringan melebihi ambang tersebut, keluaran sensor berubah dari LOW menjadi HIGH dan direspons oleh Arduino Uno dengan mengaktifkan buzzer dan LED selama dua detik sesuai logika program.

Dari hasil pengujian, waktu respons sistem berada pada kisaran 170–200 ms, yang menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan peringatan dengan cepat dan stabil. Penerapan teknik debounce pada program berhasil mengurangi noise sehingga tidak terjadi pemicu palsu pada sudut di bawah ambang deteksi. Reset otomatis juga berjalan dengan baik setelah sensor kembali ke posisi normal.

Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa sensor tilt SW-520D dapat digunakan sebagai solusi sederhana dan ekonomis untuk mendeteksi getaran dalam bentuk perubahan sudut. Sistem yang dikembangkan mudah dirakit, responsif, dan dapat dijadikan dasar untuk pengembangan alat peringatan dini pada aplikasi pendidikan, skala rumah tangga, maupun prototipe industri sederhana.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. F. M. S. Akhter, M. M. Rahman, and M. R. Islam, "Low-power Tilt-based Motion and Vibration Detection Sensor for Embedded Applications," *IEEE Sensors Journal*, vol. 20, no. 14, pp. 8124–8132, 2020.
- [2] R. K. Mishra, S. Mohanty, and P. K. Sahu, "Analysis of Vibration-induced Mechanical Failures in Industrial Equipment," *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 335, pp. 113–122, 2022.
- [3] E. B. Kamel and Y. M. Hassan, "The Role of Simulation-Based Prototyping in Reducing Development Errors in Embedded System Design," *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 125, pp. 1–15, 2023.
- [4] S. S. Patil, R. K. Wagh, and S. D. Gaikwad, "Performance Evaluation of Arduino-based Monitoring Systems," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1913, pp. 1–7, 2021.
- [5] H. Al-Azzawi and M. J. Mohammed, "Vibration Monitoring System using Accelerometer Sensors for Industrial Machines," *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 8, no. 2, pp. 45–50, 2019.
- [6] A. Sahoo, M. Rout, and S. Pati, "IoT-based Tilt Sensor System for Remote Structural Monitoring," in *Proc. Int. Conf. Smart Comput. Commun.*, 2022, pp. 210–216.
- [7] Autodesk, "Tinkercad Circuits Documentation," Autodesk Official Documentation, 2023.