

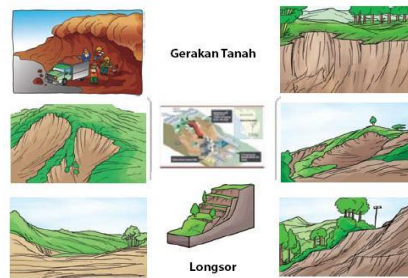
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pergerakan Tanah

Pergerakan tanah adalah salah satu proses perpindahan massa tanah/batuan dengan arah gerak, mendatar atau miring dari kedudukan semula dikarenakan pengaruh gravitasi, arus air dan beban luar. Definisi gerakan tanah yang dimaksud tidak termasuk erosi, aliran lahar, amblesan, penurunan tanah karena konsolidasi dan pengembangan. Sedangkan longsoran adalah suatu proses perpindahan massa tanah/batuan dengan arah miring dari kedudukan semula, sehingga terpisah dari massa yang mantap dikarenakan pengaruh gravitasi dengan jenis gerakan berbentuk rotasi dan tranlasi (Hidayat 2019).

Gerakan tanah (mass movement) dengan longsoran (Landslide) mempunyai kesamaan. Gerakan tanah adalah perpindahan massa tanah atau batu pada arah tegak, mendatar atau miring dari kedudukan semula, gerakan tanah mencakup gerak rayapan dan aliran maupun longsoran. Pada dasarnya tanah longsor terjadi bila gaya pendorong pada lereng lebih besar dari pada gaya penahan. Gaya penahan umumnya dipengaruhi oleh kekuatan batuan dan kepadatan tanah. Sedangkan gaya pendorong dipengaruhi oleh besarnya sudut kemiringan lereng, air, beban serta berat jenis batuan. Gaya-gaya yang berkerja pada lereng secara umum dikelompokkan menjadi dua, yaitu : gaya-gaya yang cenderung untuk menyebabkan material pada lereng untuk bergerak ke bawah dan gaya-gayay ang menahan material pada lereng sehingga tidak terjadi pergerakan atau longsoran (Kadarsetia dkk., t.t.).



Gambar 2.1 pergerakan tanah yang mengakibatkan bencana longsor
 Sumber : (tatang ismail, 2013)

Bencana tanah longsor terjadi akibat pergerakan tanah pada area lereng ketika gaya pendorong lebih besar dibandingkan dengan gaya penahan tanah, sehingga menyebabkan massa tanah bergerak secara tiba-tiba. Kondisi tersebut memerlukan suatu sistem yang mampu memberikan peringatan dini terhadap indikasi awal pergerakan tanah sebelum terjadi longsor yang lebih besar. Oleh karena itu, dikembangkan alat pendeteksi dini pergerakan tanah berbasis Raspberry Pi sebagai unit pemrosesan data dan sensor MPU6050 sebagai pendeteksi perubahan kemiringan dan pergeseran tanah. Sistem ini dirancang untuk mendeteksi perubahan sudut dan pergerakan secara real-time sehingga dapat memberikan informasi peringatan dini terhadap potensi terjadinya tanah longsor.

2.2 Sistem Pendeteksi Dini Pergerakan Tanah

Sistem pendeteksi dini pergerakan tanah adalah sistem yang digunakan untuk mendeteksi perubahan posisi tanah dalam waktu nyata dan memberikan peringatan dini kepada pihak terkait. Sistem ini bertujuan untuk memberikan informasi yang akurat dan cepat mengenai adanya pergerakan tanah, sehingga dapat segera dilakukan upaya mitigasi atau evakuasi. Terdapat beberapa pendekatan yang digunakan dalam sistem pendeteksi dini ini, salah satunya adalah penggunaan sensor

gerakan seperti accelerometer dan gyroscope yang mampu mendeteksi pergeseran tanah.

Sistem pendeteksian dini pada umumnya melibatkan tiga komponen utama, yaitu: (1) sensor untuk mendeteksi pergerakan, (2) perangkat pengolah data yang menganalisis informasi dari sensor, dan (3) sistem peringatan yang memberi tahu pengguna apabila terjadi pergerakan tanah yang signifikan.

Bencana tanah longsor terjadi akibat pergerakan tanah pada area lereng ketika gaya pendorong lebih besar dibandingkan dengan gaya penahan tanah, sehingga menyebabkan massa tanah bergerak secara tiba-tiba. Kondisi tersebut memerlukan suatu sistem yang mampu memberikan peringatan dini terhadap indikasi awal pergerakan tanah sebelum terjadi longsor yang lebih besar. Sistem pendeteksi dini merupakan suatu mekanisme pemantauan yang dirancang untuk mengidentifikasi perubahan parameter tertentu secara kontinu dan memberikan peringatan sebelum kondisi mencapai tingkat berbahaya. Dalam konteks pergerakan tanah, parameter yang umum diamati meliputi perubahan kemiringan lereng, pergeseran tanah, serta percepatan pergerakan massa tanah.

Sistem pendeteksi dini bekerja berdasarkan prinsip monitoring berkelanjutan, pengolahan data secara real-time, serta penentuan ambang batas sebagai indikator kondisi normal dan kondisi siaga. Ketika nilai parameter yang terukur melampaui batas yang telah ditentukan, sistem akan menghasilkan sinyal peringatan sebagai bentuk mitigasi awal. Keakuratan dan sensitivitas sistem menjadi faktor penting agar peringatan yang diberikan tidak terlalu lambat maupun tidak menimbulkan alarm palsu.

Sistem pendeteksi dini pergerakan tanah bertujuan untuk memantau kondisi tanah secara terus menerus dan mendeteksi perubahan yang dapat mengindikasikan pergerakan tanah yang berbahaya. Deteksi dini ini dapat memberikan peringatan kepada pihak yang berwenang atau masyarakat agar dapat melakukan evakuasi atau tindakan pencegahan lainnya. Sistem pendeteksi dini ini tidak hanya bergantung pada satu jenis sensor, tetapi biasanya menggunakan kombinasi beberapa sensor untuk meningkatkan akurasi deteksi.

2.3 Variasi Pergerakan Tanah

Pergerakan tanah adalah fenomena geologi yang mencakup berbagai jenis pergerakan massa tanah atau material lainnya di permukaan bumi, yang dapat terjadi secara alami atau sebagai akibat dari aktivitas manusia. Pergerakan tanah dapat bervariasi dalam hal jenis, intensitas, dan dampaknya. Dalam konteks pendeteksi dini pergerakan tanah, sangat penting untuk memahami berbagai jenis pergerakan tanah yang dapat terjadi, karena masing-masing jenis pergerakan tanah memiliki karakteristik yang berbeda yang perlu dipantau dengan cara yang berbeda pula.

Berikut adalah beberapa variasi pergerakan tanah yang umum terjadi:

1. Tanah Longsor (Landslide)

Tanah longsor adalah salah satu bentuk pergerakan tanah yang paling berbahaya. Tanah longsor terjadi ketika lapisan tanah atau batuan tergelincir atau bergerak turun karena kekuatan gravitasi, sering kali dipicu oleh hujan lebat, gempa bumi, atau penggalian tanah.

Jenis Tanah Longsor:

- 1) Longsor Translasi: Pergerakan massa tanah yang bergerak secara linear mengikuti arah kemiringan lereng.
- 2) Longsor Rotasi: Pergerakan tanah yang terjadi pada lereng curam di mana massa tanah bergerak sebagai unit besar yang berputar atau berguling.
- 3) Longsor Debris (Debris Flow): Pergerakan tanah yang lebih cepat, terdiri dari campuran tanah, batu, dan air, yang bergerak dengan kecepatan tinggi.
- 4) Indikasi: Perubahan kemiringan tanah, munculnya retakan pada permukaan tanah, atau penurunan permukaan tanah di area yang curam.

2. Pergerakan Tanah Vertikal (Subsidence dan Uplift)

Pergerakan vertikal tanah terjadi ketika tanah bergerak ke bawah atau ke atas. Fenomena ini seringkali terjadi karena proses geologi yang lambat dan bisa berakibat pada kerusakan bangunan dan infrastruktur.

- 1) Subsidence: Pergerakan vertikal tanah ke bawah, sering terjadi akibat penurunan lapisan tanah atau akibat ekstraksi sumber daya alam seperti air tanah, minyak, atau gas.
- 2) Uplift: Pergerakan vertikal tanah ke atas yang bisa disebabkan oleh aktivitas tektonik atau proses geologi lainnya.

3. Gerakan Tanah Seismik (Gempa Bumi)

Gerakan tanah yang disebabkan oleh gempa bumi merupakan salah satu jenis pergerakan tanah yang terjadi secara tiba-tiba. Gempa bumi menyebabkan

pergeseran lapisan tanah secara horizontal atau vertikal yang dapat menghasilkan kerusakan yang luas.

- 1) Indikasi: Getaran tanah yang terasa kuat dalam waktu singkat, seringkali disertai dengan perubahan pada permukaan tanah seperti retakan besar atau pergeseran tanah.

4. Pergerakan Tanah Akibat Kegiatan Manusia

Kegiatan manusia seperti pembangunan, penggalian, atau perubahan penggunaan lahan dapat menyebabkan pergerakan tanah. Beberapa contoh termasuk tanah longsor yang disebabkan oleh pengerukan tanah atau penurunan tanah akibat pompa air.

- 1) Indikasi: Aktivitas manusia yang terjadi di daerah rawan, seperti penggalian tanah di daerah lereng yang curam atau penggalian yang mengubah drainase alami tanah.

5. Gelombang Tanah (Soil Liquefaction)

Gelombang tanah atau soil liquefaction adalah fenomena ketika tanah yang jenuh air berubah sifatnya menjadi cair sementara akibat guncangan gempa atau tekanan eksternal lainnya. Hal ini terjadi karena tanah kehilangan kepadatannya dan menjadi lebih mirip cairan, sehingga objek yang berada di atasnya bisa tenggelam.

- 1) Indikasi: Perubahan pada tekstur tanah, terutama di area yang sebelumnya padat atau keras. Ini biasanya terjadi di daerah yang memiliki kandungan air tanah tinggi.

6. Retakan Tanah

Retakan pada tanah dapat menjadi indikator adanya pergerakan tanah di bawah permukaan, meskipun pergerakan ini tidak selalu diikuti oleh longsor tanah.

Retakan bisa berkembang seiring waktu dan menjadi lebih besar akibat pergerakan atau tekanan tanah di bawah permukaan.

- 1) Indikasi: Terjadinya retakan permukaan di sepanjang lereng atau daerah dengan perubahan mendalam dalam struktur tanah.

7. Pergerakan Tanah karena Erosi

Erosi adalah proses di mana tanah atau lapisan tanah terangkat atau terhapus dari permukaan oleh air, angin, atau es. Erosi dapat menyebabkan penurunan kualitas tanah dan mempengaruhi kestabilan lereng.

- 1) Indikasi: Pembentukan lembah, alur, atau jurang akibat pengikisan tanah oleh air hujan atau angin. Erosi bisa berlangsung dalam jangka waktu yang lama dan mempengaruhi ketebalan tanah di area tertentu.

2.4 Konsep pergeseran dan kemiringan tanah

2.4.1 Konsep Pergeseran Tanah

Pergeseran tanah (displacement) merupakan perubahan posisi suatu massa tanah dari titik awal ke titik lain akibat adanya gaya yang bekerja pada lereng. Pergeseran ini terjadi ketika gaya pendorong, seperti gaya gravitasi dan tekanan air dalam tanah, lebih besar dibandingkan gaya penahan yang berasal dari kohesi tanah dan gesekan antarpartikel. Perubahan posisi tersebut dapat terjadi secara perlahan (creep) maupun secara cepat yang berpotensi menyebabkan longsor.

Secara mekanis, pergeseran tanah dapat dinyatakan sebagai perubahan jarak terhadap waktu. Besarnya pergeseran umumnya dinyatakan dalam satuan panjang, seperti milimeter atau sentimeter. Dalam sistem pemantauan, pengukuran pergeseran dilakukan untuk mengetahui apakah terjadi perubahan posisi yang melebihi batas

normal kestabilan lereng. Pergeseran kecil yang terjadi secara terus-menerus dapat menjadi indikasi awal terjadinya ketidakstabilan tanah. Dalam sistem pendeteksi dini, data pergeseran digunakan sebagai parameter untuk menentukan kondisi aman, waspada, atau bahaya berdasarkan nilai ambang batas tertentu.

2.4.2 Konsep Kemiringan Tanah

Kemiringan tanah merupakan sudut kemiringan suatu permukaan lereng terhadap bidang horizontal. Kemiringan ini berpengaruh langsung terhadap kestabilan lereng karena semakin besar sudut kemiringan, maka semakin besar pula komponen gaya gravitasi yang bekerja sejajar dengan permukaan lereng.

Secara matematis, sudut kemiringan dapat dinyatakan sebagai:

$$\tan(\theta) = \frac{\text{tinggi}}{\text{panjang horizontal}}$$

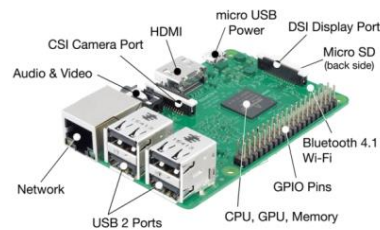
Dimana θ adalah sudut kemiringan lereng. Sudut ini biasanya dinyatakan dalam satuan derajat ($^{\circ}$).

Dalam konteks kestabilan tanah, setiap jenis tanah memiliki batas sudut tertentu yang masih dapat mempertahankan keseimbangan. Jika sudut kemiringan meningkat dan mendekati sudut kritis, maka risiko terjadinya longsor akan semakin tinggi. Oleh karena itu, pemantauan perubahan sudut kemiringan secara kontinu menjadi salah satu metode penting dalam sistem pendeteksi dini.

2.5 Raspberry pi

Raspberry Pi adalah komputer berukuran kecil yang memiliki ukuran seperti kartu atm yang dapat Anda hubungkan ke tv atau layar komputer dan keyboard(Lengkong dkk. 2022a). MicroPython adalah bagian kecil dari pustaka standar Python, dan dirancang untuk berjalan pada berbagai mikrokontroler untuk

aplikasi tertanam. Untuk pekerjaan ini, MicroPython akan digunakan untuk pengembangan perangkat lunak dalam Thonny, IDE Python.

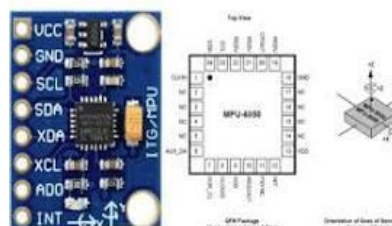


Gambar 2.2, Raspberry pi (pico)
Sumber : (Najib M, 2019)

Raspberry Pi dapat digunakan untuk menghubungkan sensor seperti MPU6050 dan melakukan pemrosesan data. Dengan menggunakan Raspberry Pi, data yang dikumpulkan dari sensor dapat dianalisis secara real-time untuk mendeteksi adanya pergerakan tanah. Selain itu, Raspberry Pi juga dapat mengirimkan data atau peringatan ke pengguna melalui internet atau aplikasi khusus jika pergerakan tanah yang signifikan terdeteksi.

2.6 Sensor MPU6050

MPU6050 adalah sensor yang mengintegrasikan akselerometer dan giroskop dalam satu chip. Sensor ini mampu mengukur akselerasi dan rotasi, MPU6050 memiliki kemampuan mengukur akselerasi dengan akurasi tinggi (Invensense, 2020.) sehingga ideal untuk aplikasi pemantauan pergerakan tanah yang sangat berguna dalam mendeteksi perubahan posisi tanah yang berpotensi menyebabkan longsor.



Gambar 2.3 Sensor MPU6050
Sumber : (Firman B, 2016)

Dalam deteksi pergerakan tanah, sensor ini digunakan untuk mengukur perubahan posisi tanah secara akurat. MPU6050 dapat mendeteksi getaran kecil atau perubahan arah pada tanah yang terjadi sebagai gejala awal tanah longsor atau pergerakan tanah lainnya. Data yang dikumpulkan oleh sensor kemudian diproses dan dianalisis untuk mendeteksi pergerakan signifikan yang mengindikasikan potensi bahaya.

2.7 Penggunaan Raspberry Pi dalam Sistem Monitoring

Perangkat Internet of Things ini menggunakan sensor accelerometer MPU6050 untuk membaca pergerakan tanah. Hasil dari sensor tersebut apabila memenuhi kriteria rawan bencana longsor akan diproses untuk mengirimkan sinyal bahaya dan dikirim ke smartphone dalam bentuk data yang berisi aplikasi monitoring berbasis Android(Lengkong dkk. 2022b). Raspberry Pi digunakan untuk membaca data sensor, mengolah dan melakukan publikasi informasi ke jejaring sosial Twitter(Tenda dkk. 2023). Berbagai factor yang dapat menimbulkan gejala awal pergerakan tanah yang bermuara menimbulkan longsor. Untuk mengurangi dan mengatasi bahaya longsor, penelitian ini mengusulkan skema pada system peringatan dini dengan menggabungkan berbagai parameter input yang ditangkap oleh berbagai sensor (multi sensor) pada system Jaringan Sensor Nirkabel (JSN) menggunakan Raspberry Pi(Kotta dkk. 2019a).

2.8 Metode Pengolahan Data pada Raspberry Pi

Data yang dikumpulkan oleh sensor MPU6050 perlu diproses dengan algoritma yang sesuai untuk mendeteksi pergerakan tanah. Raspberry Pi dapat digunakan untuk menjalankan algoritma pemrosesan data yang bertujuan untuk

mendeteksi perubahan kecil pada data sensor yang bisa menunjukkan adanya pergerakan tanah.

Beberapa metode yang dapat digunakan untuk menganalisis data sensor adalah:

- Pengolahan sinyal: Menggunakan teknik filter untuk memisahkan sinyal yang relevan dan membuang noise atau gangguan.
- Deteksi anomali: Menggunakan model untuk mendeteksi perubahan atau pola yang tidak biasa dalam data yang dihasilkan oleh sensor.
- Prediksi pergerakan: Menggunakan model pembelajaran mesin atau statistik untuk memprediksi kemungkinan pergerakan tanah berdasarkan data historis.

Raspberry Pi akan mengolah data sensor secara langsung, dan jika ditemukan anomali atau pergerakan yang melebihi ambang batas tertentu, sistem dapat memberikan peringatan melalui berbagai metode komunikasi, seperti email atau pesan teks.

2.9 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian terdahulu dengan judul “Sistem Peringatan Dini Berbasis Deteksi Pemicu Pergerakan Tanah” penelitian ini mengusulkan skema pada sistem peringatan dini dengan menggabungkan berbagai parameter input yang ditangkap oleh berbagai sensor (multi sensor) pada sistem Jaringan Sensor Nirkabel (JSN) menggunakan Raspberry Pi.(Kotta dkk.2019). Hasil yang didapatkan dari skema ini menunjukkan bahwa peringatan dini yang disalurkan dan ditransmisikan menggunakan teknologi *Internet of Things (IoT)* dapat diterima oleh pengguna lebih awal dan memberikan kesempatan untuk evakuasi dibandingkan dengan system peringatan dini lainnya.

Pada penelitian yang berjudul “Early Warning System Untuk Potensi Bencana Longsor Dikota Manado Berbasis Internet Of Things” Pada penelitian ini EWS (Early Warning System) kebencanaan berbasis IOT dapat dikembangkan memanfaatkan sensor accelerometer MPU6050, sensor getaran SW 420 dan Raspberry Pi. Dengan mengembangkan suatu sistem berbasis IoT dan Jejaring sosial Twitter, informasi terkait resiko kebencanaan dapat diperoleh, diproses dan disebarluaskan kepada masyarakat dengan cepat dan mudah(Tenda dkk. 2023).

Pada peneletian berikutnya yang berjudul “Sistem Monitoring Dan Peringatan Dini Zona Rawan Longsor Berbasis Internet Of Things” Penelitian ini bertujuan merancang sistem peringatan dini rawan bencana longsor dan analisisnya menggunakan Internet of Things dengan menggunakan minicomputer Raspberry pi. Perangkat Internet of Things ini menggunakan sensor accelerometer MPU6050 untuk membaca pergerakan tanah. Hasil dari sensor tersebut apabila memenuhi kriteria rawan bencana longsor akan diproses untuk mengirimkan sinyal bahaya dan dikirim ke smartphone dalam bentuk data yang berisi aplikasi monitoring berbasis Android. Penelitian ini menghasilkan sistem deteksi longsor mulai dari menggunakan sensor untuk mendeteksi gejala longsor kemudian membunyikan alarm sebagai tanda bahaya serta mengirim data sensor untuk disimpan kedalam cloud database(Lengkong dkk. 2022b).

Pada penelitian berikutnya yang berjudul “Integrasi Dan Visualisasi Data Sensor Kelembaban, Sensor Suhu, Dan Sensor Pergeseran Tanah Pada Embung Universitas Lampung” Hasil dari olah data secara akurat. Data sensor yang didapat merupakan data yang berasal dari Sensor Strain Gauge, Sensor Moisture Soil, dan

Sensor BMP280 dengan keluaran informasi baru berupa data rata-rata nilai masing-masing sensor serta kondisi tanah pada tiap pengukuran oleh masing-masing sensor. Data kemudian di visualisasikan dengan dukungan webhosting 000webhost, sehingga hasil akhir dari penelitian menunjukkan tampilan grafik data tiap sensor beserta list data(Meiriska 2022).

2.6 KAJIAN PUSTAKA

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

NO	Judul Artikel Penelitian	Pengarang	Hasil
1	Sistem Peringatan Dini Berbasis Deteksi Pemicu Pergerakan Tanah	Kotta dkk.2019	Hasil penelitian menunjukkan bahwa peringatan dini yang disalurkan melalui teknologi Internet of Things (IoT) dapat diterima oleh pengguna lebih awal, memberikan kesempatan untuk evakuasi lebih cepat dibandingkan dengan sistem peringatan dini lainnya.
2	Early Warning System Untuk Potensi Bencana Longsor Dikota Manado Berbasis Internet Of Things	Tenda dkk.2023	Pendekatan ini diharapkan dapat meningkatkan respons dan mitigasi terhadap risiko bencana di Kota Manado
3	Sistem Monitoring Dan Peringatan Dini Zona Rawan Longsor Berbasis Internet Of	Lengkong, Najoan, dan Kambey 2022	Data sensor yang terkirim juga disimpan dalam

	Things		database cloud untuk analisis lebih lanjut
4	Integrasi Dan Visualisasi Data Sensor Kelembaban, Sensor Suhu, Dan Sensor Pergeseran Tanah Pada Embung Universitas Lampung	Meiriska 2022	yang menghasilkan tampilan grafik dari data sensor beserta daftar detail data yang tersedia
5	Monitoring Dan Pendeteksi Dini Bencana Longsor Berbasis Internet Of Things	(Rizkia dan Hirawan, t.t.)	Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat mengirimkan informasi mengenai kondisi tanah di wilayah rawan longsor serta memberikan peringatan dengan membaca perubahan nilai pada setiap parameter pengukuran tanah.
6	Perancangan Prototipe Sistem Peringatan Dini Tanah Longsor Berbasis Internet Of Things	(Mujahid dkk. 2020)	Sensor yang digunakan meliputi MPU6050 untuk membaca kemiringan lereng dan getaran, serta Soil Moisture untuk kelembapan tanah.
7	Sistem Peringatan Dini Bencana Longsor Menggunakan Sensor Accelerometer dan Sensor Kelembaban Tanah Berbasis Android	(Artha dkk. 2018)	Sensor MPU6050 mendeteksi akselerasi linier untuk menentukan gerakan tanah, sedangkan sensor kelembaban mengukur kelembaban tanah.

8	Prototype Detektor Bencana Tanah Longsormenggunakan Accelerometer And Gyroscopesensor Dengan Konsep Internet Of Things (Iot)	(Farikha dkk. 2020)	Proyek ini merancang detektor tanah longsor berbasis IoT dengan mikrokontroler TTGO LoRa yang terintegrasi dengan sensor MPU6050, kelembaban tanah, hujan, dan rotary encoder.
9	Multi Node Sistem Pendeteksi Dini Pergerakan Tanah Longsor Menggunakan Sensor Accelerometer Berbasis Internet-Of-Things (Iot)	(Gustiawan 2019)	Penelitian ini mengembangkan pendeteksi pergerakan tanah dengan NodeMCU dan sensor MPU6050 multi-node.
10	Prototipe Alat Pergeseran Tanah Berbasis Internet Of Things	("File I.pdf.crdownload," t.t.)	Tugas akhir ini merancang prototipe alat pergeseran tanah berbasis IoT menggunakan Raspberry Pi 3 B+ dan buzzer sebagai notifikasi bahaya.