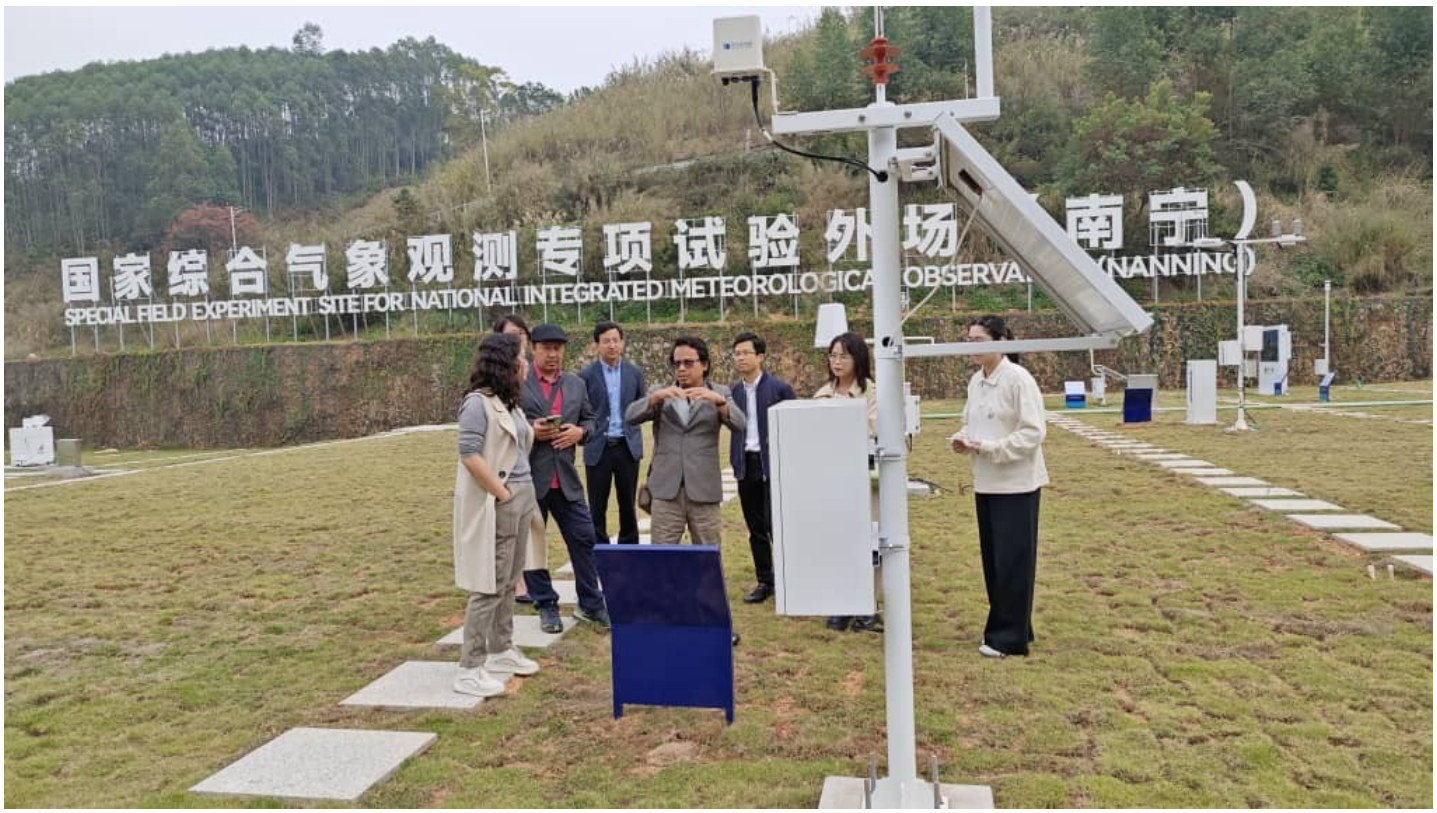


Experts

Cuaca, Satelit dan Masa Depan Pemantauan Bencana Mengapa banjir, banjir kilat dan tanah runtuh memerlukan pendekatan bersepadu berasaskan AI

26 December 2025

Cuaca tidak lagi boleh dianggap sebagai perkara sampingan kerana ia kini menjadi punca utama

kepada banyak kejadian bencana. Dalam beberapa tahun kebelakangan ini, perubahan corak cuaca telah memberi kesan besar di Malaysia dan rantau sekitarnya. Corak hujan semakin tidak menentu, dengan kejadian hujan lebat jangka pendek yang semakin kerap mencetuskan bencana seperti banjir, banjir kilat dan tanah runtuh. Perubahan iklim ini memberi tekanan yang ketara kepada bentuk muka bumi semula jadi, sistem perparitan, infrastruktur serta komuniti, khususnya di kawasan yang berisiko tinggi berlakunya bencana.

Hubungan antara hujan ekstrem dan kejadian bencana semakin jelas dalam beberapa tahun kebelakangan ini. Semasa banjir besar pada bulan Disember 2021 di Lembah Klang, beberapa stesen pemantauan merekodkan lebih 300 milimeter hujan dalam tempoh 24 jam, hampir menyamai atau melebihi purata hujan bulanan kawasan tersebut. Keadaan ini menyebabkan sistem perparitan bandar gagal berfungsi, sungai melimpah, banjir kilat berlaku dengan pantas di kawasan kediaman, serta kejadian tanah runtuh dan kegagalan cerun di beberapa lokasi berisiko.

Corak yang sama terus berulang selepas itu. Di Kuala Lumpur dan kawasan sekitarnya, banjir kilat kerap berlaku apabila hujan lebat turun dalam tempoh singkat dan melebihi kapasiti sistem perparitan bandar, walaupun tanpa hujan berpanjangan. Fenomena ini menunjukkan bahawa banjir kilat bandar kini semakin berkait rapat dengan intensiti hujan ekstrem jangka pendek.

Untuk rekod, sepanjang tahun 2024 dan berterusan hingga awal 2025, beberapa kejadian tanah runtuh berskala besar telah dilaporkan, khususnya di kawasan berbukit dan tanah tinggi. Antara kejadian yang mendapat perhatian ialah tanah runtuh di laluan Jalan Tun Sardon, Balik Pulau, Pulau Pinang, yang mengganggu pergerakan trafik dan memaksa penutupan jalan utama selepas hujan lebat berterusan. Di Selangor, kejadian runtuhan cerun di kawasan perumahan seperti Taman United, Seputeh turut dilaporkan, berpunca daripada hujan berpanjangan yang menyebabkan hakisan dan kegagalan sistem saliran cerun.

Kesemua kejadian ini mengesahkan satu hakikat penting bahawa banjir, banjir kilat dan tanah runtuh adalah berpunca daripada sistem cuaca yang sama. Namun, kesannya berbeza bergantung kepada keadaan muka bumi, corak guna tanah dan keupayaan sistem perparitan setempat. Corak bencana yang berulang ini menekankan keperluan kepada pemantauan cuaca dan keadaan tanah yang lebih menyeluruh bagi mengurangkan risiko pada masa hadapan.

Risiko tanah runtuh meningkat dengan ketara apabila jumlah hujan yang tinggi berlaku dalam tempoh yang panjang. Hujan berpanjangan menyebabkan tanah menjadi tepu dan melemahkan kestabilan cerun. Apabila tahap ketepuan kritikal berlaku, hujan tambahan walaupun sederhana boleh mencetuskan kegagalan cerun. Kebanyakan kejadian tanah runtuh tidak berlaku secara tiba-tiba, sebaliknya bermula secara beransur-ansur seperti pembasahan tanah berulang akibat hujan dan pergerakan tanah yang perlahan.

Pada masa yang sama, pendekatan pemantauan sedia ada masih terlalu bergantung kepada hujan dan paras air, tanpa pemantauan berterusan terhadap keadaan tanah dan cerun. Di kawasan berbukit dan bandar yang pesat membangun, usaha-usaha pemantauan tidak mencukupi, menyebabkan amaran awal bergantung kepada maklumat yang terhad. Lebih membimbangkan, parameter penting seperti kelembapan tanah, perubahan bentuk tanah dan pergerakan cerun jarang dipantau secara berterusan.

Tanpa pemantauan terhadap parameter penting seperti keadaan tanah dan pergerakan cerun, amaran bencana sering dikeluarkan hanya selepas ambang tertentu dilepasi, sedangkan kegagalan cerun lazimnya berlaku akibat kesan kumulatif jangka panjang yang berkembang secara perlahan-

lahan. Keadaan ini menggambarkan keperluan kepada pendekatan pemantauan yang lebih menyeluruh, supaya risiko tanah runtuh dapat dikenal pasti lebih awal sebelum bencana sebenar berlaku.

Sistem pemantauan berasaskan satelit membolehkan kawasan yang luas dipantau secara berterusan, termasuk lokasi yang sukar atau mustahil dipantau melalui sistem yang di pasang di lapangan. Dalam tempoh dua dekad lalu, teknologi satelit telah berkembang dengan pesat, apabila hasil penyelidikan berjaya diterjemahkan ke dalam sistem operasi sebenar bagi pengurusan bencana moden. Sistem radar satelit, khususnya radar apertur sintetik (SAR), kini digunakan secara meluas untuk mengesan perubahan permukaan dan pergerakan tanah, serta mampu beroperasi dengan berkesan walaupun dalam keadaan litupan awan tebal dan hujan lebat. Pada masa yang sama, satelit pemerhatian bumi menyediakan maklumat berterusan mengenai taburan hujan, perubahan keadaan guna tanah, vegetasi dan kawasan yang dilitupi air, yang menyokong penilaian risiko banjir, banjir kilat dan tanah runtuh pada skala yang lebih luas.

Walaupun teknologi satelit mampu memberikan gambaran menyeluruh pada skala kawasan yang lebih besar, pemantauan bencana yang berkesan memerlukan gabungan pemerhatian berskala besar dan pengukuran setempat yang tepat di lokasi. Setiap teknologi mempunyai peranan tersendiri dalam memahami tingkah laku cerun, aliran air dan tindak balas permukaan bumi terhadap cuaca ekstrem, khususnya di kawasan berisiko tinggi.

Penggunaan satelit, termasuk radar dan satelit pemerhatian bumi, berfungsi sebagai lapisan awal untuk mengenal pasti kawasan yang menunjukkan tanda-tanda ketidakstabilan seperti perubahan guna tanah, kelembapan tinggi, pergerakan permukaan atau peningkatan kawasan berair. Data ini penting untuk menapis dan memfokuskan kawasan berisiko pada skala yang lebih luas, sebelum pemantauan yang lebih terperinci dijalankan.

Bagi lokasi yang dikenal pasti berisiko tinggi, pemantauan setempat dan berterusan menjadi pelengkap yang sangat penting. Pelbagai sensor di lapangan, termasuk sistem pengukuran pergerakan tanah berasaskan Sistem Satelit Navigasi Global (GNSS), boleh digunakan untuk menilai tingkah laku cerun secara lebih terperinci. Sistem membolehkan pergerakan tanah dipantau secara berterusan dengan ketepatan tinggi, khususnya bagi mengesan pergerakan yang perlahan dan kecil yang lazimnya mengakibatkan kegagalan cerun.

Pendekatan berlapis ini membolehkan sumber pemantauan digunakan dengan lebih berkesan. Teknologi satelit digunakan untuk pemerhatian awal dan liputan pada skala yang luas, manakala sensor setempat seperti GNSS, tolok hujan dan Stesen Cuaca Automatik (AWS) memberikan pengesahan dan pemantauan berterusan di kawasan kritikal. Apabila data daripada pelbagai sumber ini digabungkan, ia memberikan gambaran yang lebih jelas tentang bagaimana cerun dan sistem saliran bertindak balas terhadap hujan, sama ada kesannya bersifat sementara atau menunjukkan ketidakstabilan struktur yang sebenar.

Ketersediaan data daripada satelit, hujan, AWS dan GNSS juga menonjolkan kepentingan kecerdasan buatan (AI) dalam pemantauan bencana. Sistem pemantauan moden menghasilkan jumlah data yang terlalu besar untuk dianalisis secara manual dalam masa nyata. Kecerdasan buatan kini cukup matang untuk menganalisis intensiti dan tempoh hujan, pergerakan angin, kelembapan tanah, paras dan aliran air, tindak balas permukaan dan pergerakan bentuk tanah secara serentak. Bagi banjir kilat, teknik nowcasting berasaskan AI boleh menilai corak hujan masa nyata dan mengenal pasti kawasan yang berkemungkinan melebihi kapasiti perparitan dalam tempoh beberapa jam akan datang. Bagi banjir sungai dan tanah runtuh, model ramalan berasaskan AI

menilai hujan terkumpul dan trend pergerakan bentuk tanah untuk menganggarkan bagaimana risiko akan berlaku dalam tempoh beberapa hari atau minggu kedepan.

Pengalaman antarabangsa menunjukkan nilai sistem pemantauan yang komprehensif dan dipacu teknologi, bukan sahaja untuk pengurusan bencana, tetapi juga sebagai perkhidmatan sokongan keputusan kepada pelbagai sektor. Negara seperti China telah melabur secara besar-besaran dalam platform bersepadu yang menggabungkan rangkaian Stesen Cuaca Automatik (AWS), radar cuaca, pemerhatian satelit, pemantauan GNSS dan analitik berasaskan kecerdasan buatan. Sistem ini bukan sekadar menghasilkan amaran awam, tetapi membekalkan data cuaca, hidrologi dan pergerakan tanah secara berterusan kepada agensi kerajaan, pihak berkuasa tempatan, syarikat utiliti, pengendali pengangkutan dan sektor industri untuk menyokong perancangan dan operasi harian.

Nilai sebenar sistem ini terletak pada keupayaannya menterjemahkan data dan parameter teknikal kepada maklumat yang boleh digunakan. Bagi sektor pengangkutan, data hujan dan banjir menyokong pengurusan trafik dan keselamatan jalan raya. Bagi sektor pertanian, maklumat hujan, kelembapan tanah dan ramalan cuaca membantu petani merancang penanaman, pengairan dan penuaian. Bagi industri dan syarikat utiliti, data cuaca dan pergerakan tanah menyokong pengurusan risiko, penyelenggaraan aset dan kesinambungan operasi. Pendekatan ini menjadikan sistem pemantauan bukan sekadar alat amaran, tetapi satu perkhidmatan awam dan ekonomi yang bernilai tinggi.

Perkembangan ini menunjukkan hala tuju dasar yang jelas untuk dilaksanakan. Kerajaan perlu berubah daripada inisiatif pemantauan yang terasing kepada sistem pemantauan nasional yang benar-benar bersepadu dan berorientasikan perkhidmatan. Stesen cuaca, tolok hujan, satelit pemerhatian bumi hiperspektral, penderia tanah runtuh GNSS dan AWS perlu dihubungkan melalui platform berintegrasi yang membolehkan perkongsian data, analisis masa nyata dan penyelarasan keputusan antara agensi, industri dan masyarakat. Kecerdasan buatan perlu menjadi teras kepada integrasi ini, menyokong nowcasting bagi banjir kilat, ramalan bagi banjir sungai dan amaran awal bagi tanah runtuh.

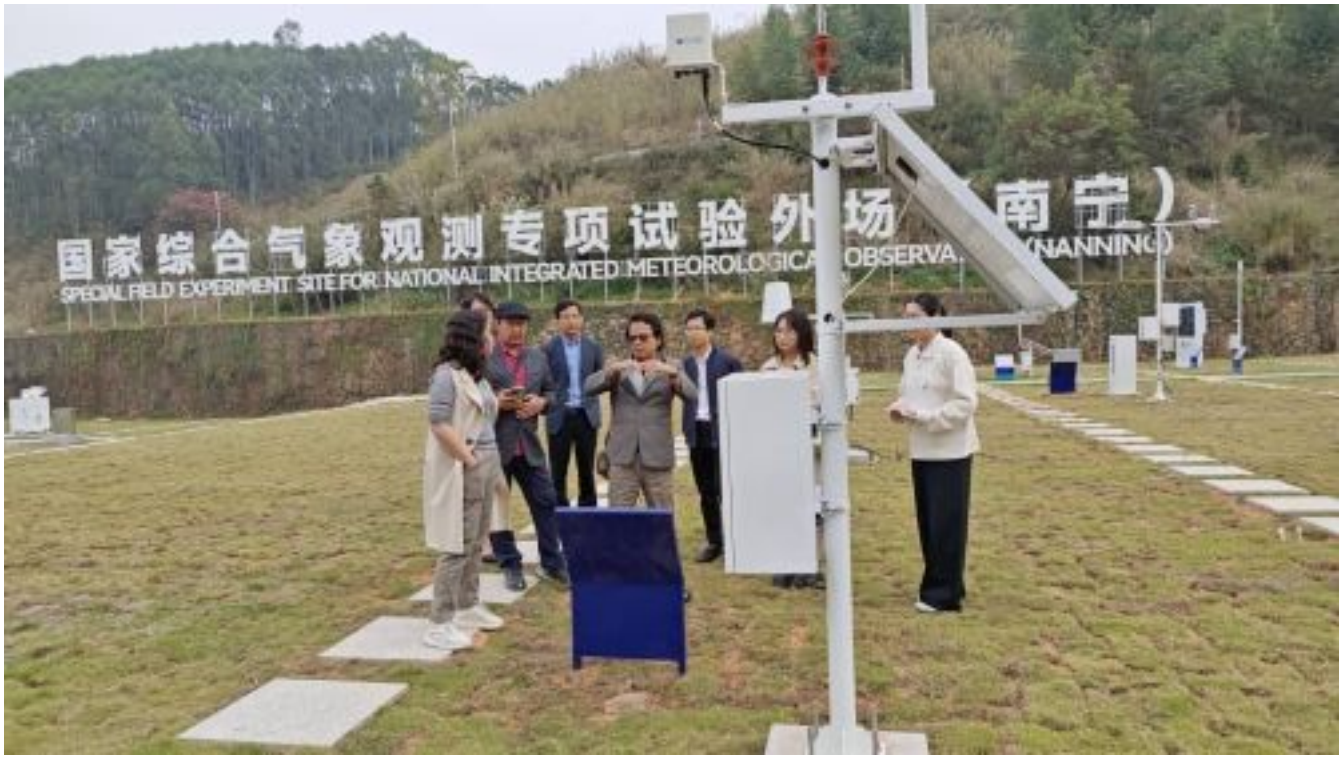
Ketika kejadian hujan ekstrem berterusan ke penghujung tahun 2025 dan seterusnya, pemantauan bencana mesti dianggap sebagai agenda kritikal negara dan asas kepada ekonomi yang berdaya tahan. Cuaca mungkin menjadi pencetus, tetapi akses kepada data yang tepat, pemantauan yang bersepadu dan penggunaan maklumat secara pintar akan menentukan sama ada risiko dapat dikurangkan, keputusan dapat dipertingkatkan dan keselamatan masyarakat dapat dilindungi.

Bagi Malaysia, keperluan untuk beralih kepada sistem pemantauan bencana yang benar-benar bersepadu perlu disegerakan. Peningkatan kejadian banjir, banjir kilat dan tanah runtuh menunjukkan bahawa pendekatan reaktif tidak lagi mencukupi. Walaupun negara mempunyai keupayaan asas dalam pemantauan cuaca dan hidrologi, cabaran utama terletak pada penyelarasan sistem, kesinambungan data dan penggunaan analitik pintar sebelum bencana berlaku.

Malaysia perlu meletakkan pemantauan cuaca dan bencana sebagai infrastruktur strategik negara. Ini memerlukan platform nasional yang menyatukan data hujan, cuaca, pemerhatian satelit, pemantauan pergerakan tanah dan ramalan berasaskan kecerdasan buatan, serta boleh digunakan bersama oleh kerajaan, pihak berkuasa tempatan dan sektor kritikal. Pendekatan ini membolehkan amaran banjir kilat, ramalan banjir sungai dan pemantauan cerun berisiko dilaksanakan lebih awal, tepat dan berfokus.

Lebih penting, sistem ini harus berfungsi sebagai perkhidmatan nasional yang memberi nilai terus kepada rakyat dan ekonomi. Data cuaca dan bencana yang boleh diakses akan menyokong keputusan dalam sektor pengangkutan, pertanian dan industri, sambil meningkatkan daya tahan negara terhadap cuaca ekstrem. Cuaca mungkin di luar kawalan manusia, tetapi cara negara memantau dan bertindak balas terhadap risikonya adalah pilihan strategik yang mesti dibuat sekarang.

Apabila cuaca mencetuskan bencana, data dan kecerdasan menentukan hasilnya.



Penulis berkolaborasi dengan Jabatan Kajicuaca Guangxi, China dalam kajian berkaitan penggunaan satelit, kecerdasan buatan (AI) dan data bagi pemantauan cuaca dan bencana.

Oleh: Profesor. Ir. Ts. Dr. Kamarul Hawari Ghazali
E-mel: kamarul@umpsa.edu.my

Penulis ialah seorang profesor dan penyelidik dalam bidang sistem penderiaan pintar, pemantauan satelit dan pengurusan risiko bencana berasaskan data di Fakulti Teknologi Kejuruteraan Elektrik dan Elektronik (FTKEE), Universiti Malaysia Pahang Al-Sultan Abdullah (UMPSA). Beliau juga merupakan penerima Geran Dana Penyelidikan Strategik (SRF) daripada Kementerian Sains, Teknologi dan Inovasi (MOSTI), selain pembiayaan penyelidikan daripada Kementerian Pendidikan Tinggi (MOHE), rakan industri dan agensi kerajaan.

Rencana ini merupakan pandangan peribadi penulis dan tidak menggambarkan pendirian rasmi Universiti Malaysia Pahang Al-Sultan Abdullah (UMPSA).

- 59 views

View PDF