



KAJIAN LITERATUR SAINS TERHADAP SISTEM PENDETEKSI DINI TORNADO ATAU *TORNADO EARLY DETECTION SYSTEM*

Norma Yunita Firdaus¹, Ahmad Fauzi Hendratmoko², Wafiq Maula Azizah³, Azhar⁴
Pendidikan Ilmu Pengetahuan Alam, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan
Alam, Universitas Negeri Surabaya

normayunita.22041@mhs.unesa.ac.id¹, ahmadhendratmoko@unesa.ac.id²
wafiq.22052@mhs.unesa.ac.id³, azhar.22137@mhs.unesa.ac.id⁴

Abstrak

Tornado adalah fenomena cuaca buruk yang paling ganas dan merusak yang dihasilkan oleh badai konvektif lokal. Salah satu penyebab terjadinya tornado cuaca buruk. Pergerakan udara yang dipicu oleh perbedaan tekanan udara yang disebabkan oleh perbedaan suhu akibat sinar matahari menjadi faktor pemicu terjadinya cuaca buruk. Upaya yang dapat dilakukan untuk mendeteksi tornado dengan cara mengembangkan teknologi radar pendeteksi tornado seperti yang sudah diteliti oleh Amerika Serikat dalam 20 tahun terakhir. EWS (Early Warning System) merupakan sebuah sistem untuk memahami tanda-tanda awal bencana yang kemudian akan disampaikan kepada masyarakat, sehingga masyarakat dapat melakukan antisipasi untuk mengurangi efek dari bencana tersebut. Selain itu, layanan cuaca nasional juga memiliki peran yang cukup penting dalam memperingatkan masyarakat ketika cuaca berbahaya terjadi. Metode penelitian yang digunakan adalah metode studi literatur, semua data yang dikumpulkan berasal dari jurnal, buku ataupun sumber lainnya yang berkaitan tentang tornado dan sistem pendeteksi dini tornado.

Kata Kunci: Tornado; Angin; Cuaca Buruk; Bencana Alam; EWS (Early Warning System)

Abstract

Tornadoes are the most violent and destructive severe weather phenomena produced by localized convective storms. One of the causes of severe weather tornadoes. Air movement triggered by air pressure differences caused by temperature differences due to sunlight is a triggering factor for severe weather. Efforts can be made to detect tornadoes by developing tornado detection radar technology as has been researched by the United States in the last 20 years. EWS (Early Warning System) is a system to understand the early signs of disaster that will then be forwarded to the community, so that people can make preparations to minimize the effects of the disaster. In addition, the national weather service also has an important role in warning the publik when dangerous weather occurs. The research method used is the literature study method, all data collected comes from journals, books or other sources related to tornadoes and tornado early detection systems.

Keyword: *tornado; wind; severe weather; natural disaster; EWS (Early Warning System)*

Pendahuluan

Peristiwa tornado memiliki dampak yang begitu besar salah satunya yaitu menyebabkan banyak kerusakan pada bangunan dan infrastruktur pada berbagai wilayah. Pengukuran langsung pada kecepatan angin selama tornado seringkali tidak mungkin dilakukan karena sifat badai yang tidak dapat diprediksi dan ganas. Faktor-faktor seperti ukuran, panjang, dan lebar tornado serta hubungannya dengan lingkungan alam dan bangunan telah terbukti berhubungan langsung dengan



sebagian besar kematian dan cedera akibat tornado [1]. Menurut Stevenson (2023), tornado jenis nokturna cenderung relatif lebih mematikan bagi manusia, sedangkan waktu terjadinya tornado tersebut memiliki dampak yang lebih kecil terhadap kerugian ekonomi. *The National Weather Service* (NWS) mengatakan bahwa peringatan tornado merupakan salah satu trending topik NWS yang paling banyak menjadi sorotan publik karena tornado mempunyai dampak yang signifikan terhadap masyarakat.

Tornado merupakan bahaya yang sering terjadi dan tersebar yang mengakibatkan jumlah kematian rata-rata 350 per tahun [2]. Di Indonesia tornado merupakan bencana yang dianggap memiliki skala meso karena memiliki ukuran lebih dari 2 km dan termasuk dalam peristiwa bencana alam yang bahkan tidak pernah terjadi. Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) yang melakukan analisis data berkolaborasi dengan BMKG mengatakan bahwa apabila terjadi peristiwa tornado di Indonesia hal tersebut tidak lain disebabkan oleh adanya proses fisis tornado dari wilayah barat yang berkolerasi dengan angin muson Asia yang kemudian berhembus ke arah wilayah Indonesia. Angin muson tersebut kemudian bertemu dengan angin di sekitar pegunungan sehingga menyebabkan terjadinya angin mengalir melingkar atau disebut dengan tornado [3].

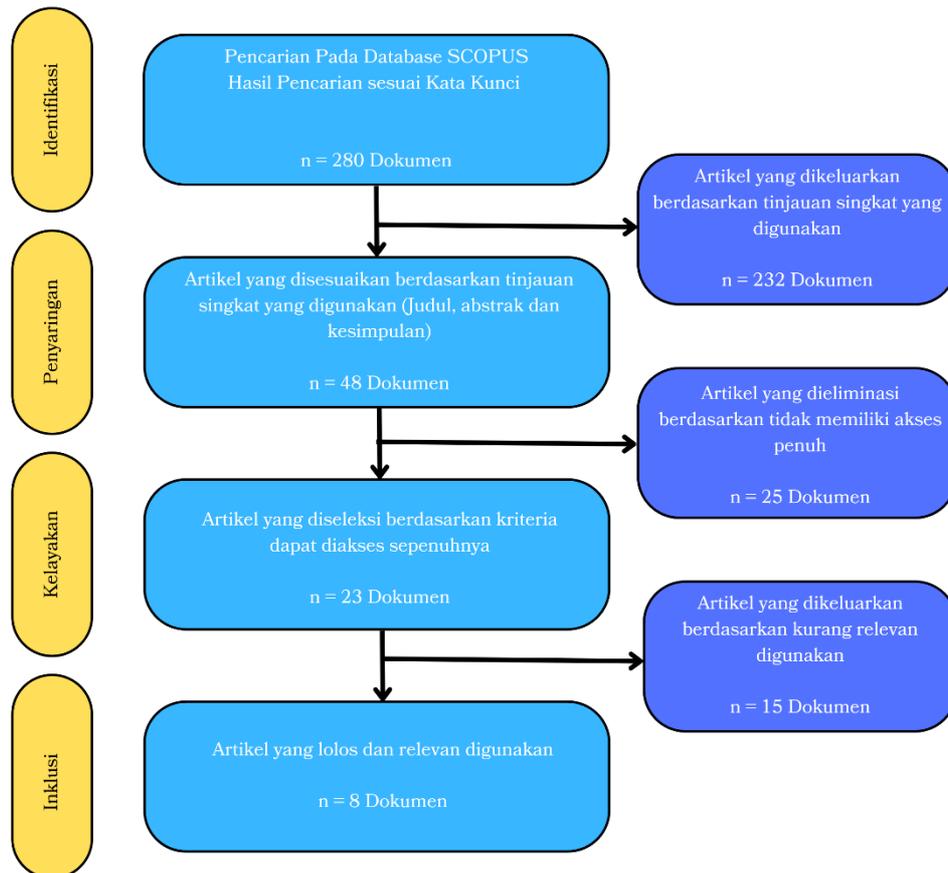
Menurut [4] skala *Enhanced Fujita* (EF) dapat digunakan secara luas selama lebih dari 30 tahun hingga pembaruan signifikan dilakukan untuk meningkatkan keakuratan perkiraan kecepatan angin dan memberikan daftar jenis struktur yang lebih komprehensif yang dapat digunakan untuk mengevaluasi tornado. Dalam hal ini, perkiraan kecepatan angin dapat disesuaikan dengan kecepatan angin *upper-bound* (UB) dan *lower-bound* (LB), kecepatan angin maksimum tersebut tetap mengacu pada rentang kecepatan skala *Enhanced Fujita* (RF), yang kemudian mengklasifikasi kekuatannya dari EF0 hingga EF5 [1].

Penilaian skala *Enhanced Fujita* (EF) konvensional dilakukan berdasarkan pengamatan kerusakan struktural di lapangan dan perkiraan jumlah pohon tumbang. Perkiraan kecepatan angin maksimum diaplikasikan dengan model skala *Enhanced Fujita* (EF) dengan mengkategorikan kecepatan intensitasnya kisaran EF0 sampai dengan EF5 [4].

Metode Penelitian

Metode yang diterapkan dalam penelitian ini adalah metode studi literatur, dimana semua informasi yang dikumpulkan berasal dari jurnal, buku atau sumber lain [5]. Pendekatan ini bertujuan untuk memperdalam pemahaman dan penafsiran belajar [6]. Tujuan dari tinjauan literatur ini adalah untuk mendapatkan gambaran sistem deteksi dini angin puting beliung *Early Warning System* (EWS) [7]. Tinjauan pustaka berfungsi sebagai teori dasar bagi peneliti dalam merumuskan hipotesis. Literatur yang digunakan sebagai sumber dalam penelitian ini merupakan pengetahuan tentang penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti lain atau penelitian sebelumnya. Pengetahuan ini adalah dasar untuk memahami suatu fenomena dan menghubungkan hasil penelitian satu sama lain. Hubungan antara hasil penelitian ini kemudian disusun secara komprehensif untuk memperoleh gambaran dan kesimpulan [7]. Referensi yang digunakan tidak terbatas pada tempat dan waktu [8]. Oleh karena itu, penelitian ini mengacu pada penelitian tersedia dalam buku, jurnal dan dokumen pendukung lainnya. Pencarian *database* Dalam melakukan *literature review* ini digunakan metode PRISMA (*Preffered Reporting Item for Systematic Review and Meta Analysis*) [9]. *Literature review* ini dilakukan kepada artikel yang memiliki tahun publikasi yang tidak terbatas yang mengidentifikasi mengenai sistem pendeteksi tornado. Pencarian Artikel yang digunakan berdasarkan kata kunci yang telah ditentukan yaitu "*tornado AND detection AND system*" dan melalui *database* pencarian

SCOPUS) [9]. Pencarian *database* artikel *Literature Review* diakses pada tanggal 04 April 2024.



Gambar 1. Diagram Alur Pemilihan Artikel

Pencarian data dalam penelitian ini mengacu pada *database* resmi *SCOPUS* dan menggunakan kata kunci yang sesuai dengan judul penelitian dan abstrak, atau dapat dicocokkan dengan pertanyaan penelitian yang telah dirumuskan sebelumnya. Selanjutnya, proses penyaringan meliputi penyaringan atau pemilihan data (artikel dan jurnal penelitian) sesuai dengan topik, judul, abstrak, dan kata kunci pertanyaan penelitian. Proses seleksi ini didasarkan pada data teks lengkap (artikel atau jurnal penelitian) yang memenuhi kriteria inklusi dan eksklusi. Terakhir, semua data (artikel atau jurnal penelitian) yang memenuhi semua syarat dan kriteria akan dianalisis lebih lanjut [10].

Hasil Dan Pembahasan

Tabel 1. Overview of the study

No	Penulis	Hasil
1	Bentley, E.S., Thompson, R.L., Bowers, B.R., Gibbs, J.G., Nelson, S.E. (2021)	Dalam penelitian ini, peringatan tornado NWS selama tiga tahun penuh (2016-2018) di seluruh wilayah Amerika Serikat diperiksa, bersama dengan data pendukung dalam beberapa menit sebelum dikeluarkannya peringatan, atau pembentukan tornado jika terjadi peristiwa yang terlewat. Investigasi di sini memeriksa data mesoanalisis WSR-88D dan <i>Storm Prediction Center</i> (SPC) yang terkait dengan peringatan tornado ini



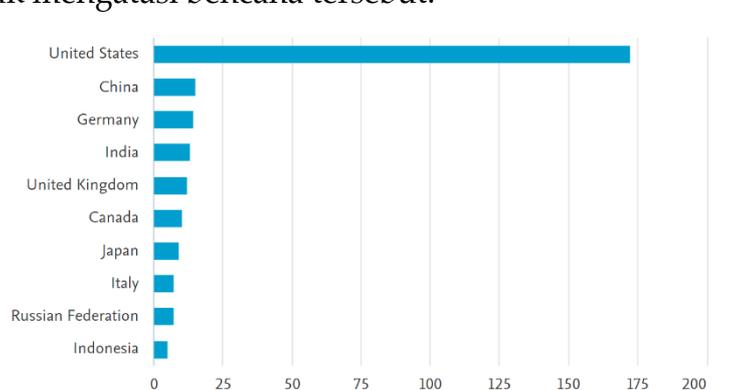
dengan perbandingan yang dibuat dengan panduan *Warning Decision Training Division* (WDTD) saat ini. Menggabungkan kecepatan rotasi tingkat rendah dan *Significant Tornado Parameter* (STP), seperti yang digunakan dalam penelitian sebelumnya, menunjukkan hasil yang menjanjikan sebagai sarana untuk memperkirakan kinerja peringatan tornado, serta perubahan relatif dalam kinerja seiring dengan bervariasinya ambang batas kriteria [11].

2	Durage, Samanthi W., Wirasinghe S.C., Ruwanpura, Janaka. (2013)	Jaringan deteksi dan peringatan untuk Kanada dikembangkan, menggunakan Calgary sebagai studi kasus, sedangkan jaringan terpisah dikembangkan untuk Amerika Serikat, yang menunjukkan bagaimana penduduk lokal menerima peringatan tornado dari kantor prakiraan cuaca setempat [12].
3	Jun, L., Honggen, Z., Jianbing, L., Xinan, L. (2019)	Jaringan pengamatan tornado radar cuaca Doppler polarisasi ganda solid-state X-band resolusi spasial-temporal resolusi tinggi sedang dibangun di Dataran Jiangsu Utara, yang merupakan cara yang mudah terjadi daerah tornado di Cina. Dalam hal skala dan spesifik tornado (<i>Tornado Debris Specific</i> (TDS)), sulit bagi radar operasional S-band untuk memenuhi deteksi tornado yang cepat dan detail dengan resolusi spatiotemporal rendah dan tanpa kemampuan deteksi polarisasi [13].
4	Sarah A. Stevenson, Connell S. Miller, David M.L. Sills, Gregory A. Kopp, Daniel M. Rhee, Franklin T. Lombardo. (2023)	Skala Fujita digunakan secara luas selama lebih dari 30 tahun sebelum menerima pembaruan signifikan untuk meningkatkan akurasi estimasi kecepatan angin dan memberikan daftar jenis struktur yang lebih komprehensif yang dapat digunakan dalam penilaian tornado [4].
5	Oriol Rodríguez, Joan Bech, Joan Arús, Salvador Castan´, Francesc Figuerola, Tomeu Rigo. (2021)	Instrumen penginderaan jauh seperti radar cuaca, sistem deteksi petir, dan citra satelit telah digunakan untuk memvalidasi setiap peristiwa. Selain itu, survei lapangan yang dilakukan setelah beberapa kasus tornado dan penggunaan citra udara resolusi tinggi telah memberikan informasi yang diperlukan untuk menggambarkan jalur kerusakan, termasuk panjang dan lebar area kerusakan, serta intensitas maksimum yang sesuai dengan Skala Fujita yang ditingkatkan [14].
6	Maurício I. Oliveira, Franciano S. Puhales, Ernani L. Nascimento, Vagner Anabor. (2022)	Penelitian ini menyajikan analisis terintegrasi mengenai kerusakan tornado melalui penggunaan teknologi visual, penginderaan jauh, dan analisis lingkungan. Citra satelit resolusi menengah dan foto-foto kerusakan langsung menunjukkan bahwa tornado tersebut menghasilkan kerusakan kelas atas F2 menurut skala Fujita, dengan jalur kerusakan yang melintasi sepanjang 4,9 km di bagian utara Xanxerê. Video tornado dan badai

induknya mengungkapkan adanya mesosiklon dengan tingkat rendah dan *downdraft* sayap belakang, yang menunjukkan bahwa badai tersebut merupakan jenis *supercell* [15].

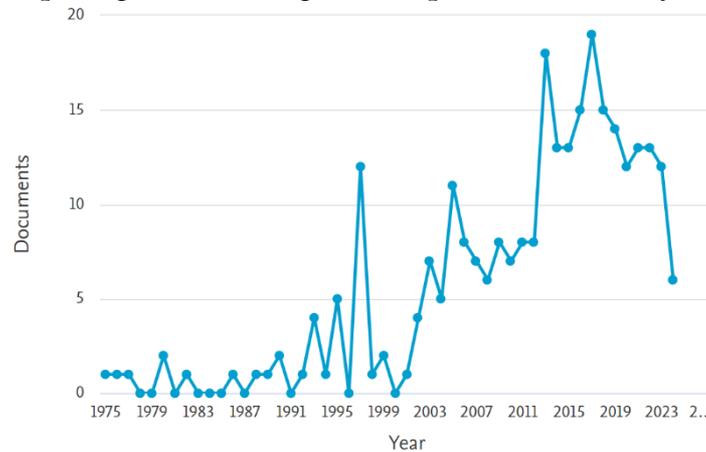
7.	Li Feng, Li Bai, Tang Xiaowen, Zhang Lin, Li Ruiyi. (2020)	Dalam 20 tahun terakhir Amerika Serikat telah melakukan penelitian yang menyelidiki tentang teknologi radar pendeteksi tornado. Target pengembangan radar pendeteksi tornado di Amerika Serikat ini dilakukan untuk mencapai pemindaian cepat, resolusi spasial-temporal yang tinggi, dan perolehan data presisi tinggi. Perkembangan radar di Amerika Serikat menerapkan berbagai sistem teknis dan strategi pemindaian, polarisasi ganda, array bertahap, pencitraan atmosfer, dan teknologi lainnya terus ditingkatkan dan diterapkan, dengan hasil yang baik [16].
8.	Chamberlain, J.U., Flournoy, M.D., Krocak, M.J., Brooks, H.E., Anderson-Frey, A.K. (2023)	Layanan cuaca nasional memiliki peran penting dalam memperingatkan masyarakat ketika cuaca buruk terjadi, salah satunya tornado. Memahami kinerja peringatan dini dan meningkatkan kinerja peringatan dini menjadi hal yang penting. Mengumpulkan data dari tahun 2008 hingga 2014, arsip data radar NEXRAD, dan database verifikasi NWS untuk mengaitkan setiap laporan tornado dengan objek badai. Deteksi dan waktu tunggu meningkat seiring terjadinya tornado di tengah badai, tornado pertama dari setiap badai cenderung tidak mendapat peringatan dan rata-rata memiliki waktu tunggu yang lebih singkat. Sehingga, pengumpulan data dapat meningkatkan peringatan untuk tornado pertama yang dihasilkan dari setiap badai [17].

Berdasarkan riset kajian literatur, ditemukan data-data penelitian terkait peristiwa tornado yang terjadi menurut negara dan tahun. Penelitian tersebut dikaitkan dengan terjadinya peristiwa tornado di suatu wilayah serta mitigasi yang diupayakan untuk mengatasi bencana tersebut.



Gambar 2. Data penelitian peristiwa tornado menurut negara

Berdasarkan data penelitian mengenai peristiwa Tornado dan *Tornado Detection System* menurut negara atau wilayah, terdapat 10 negara terbanyak melakukan penelitian terkait sistem pendeteksi tornado. Diantaranya ditingkat paling atas adalah negara United States atau Amerika Serikat dengan data penelitian sebanyak 172 riset. Diurutan selanjutnya terdapat negara China, Jerman, India, Britania Raya, dan Kanada dengan data penelitian sebanyak 15 sampai dengan 10 riset. Sedangkan Indonesia menduduki urutan paling bawah dengan data penelitian sebanyak 5 riset.



Gambar 3. Data penelitian peristiwa tornado menurut tahun

Sedangkan berdasarkan pada data penelitian mengenai peristiwa Tornado dan *Tornado detection system* dari tahun ke tahun, dapat dilihat pada grafik bahwa penelitian terkait system pendeteksi tornado paling banyak dilakukan pada tahun 2017. Meskipun pada tahun 2024 penelitian terkait system pendeteksi tornado ini mengalami penurunan akan tetapi, dokumen penelitian yang sudah terdapat di *scopus* sebanyak 6 dokumen hingga Mei 2024 ini.

Angin adalah pergerakan udara secara horizontal yang terjadi relatif terhadap bumi permukaan [18]. Meskipun peranan pergerakan udara sangat signifikan dalam pembentukan awan dan hujan, namun kecepatan pergerakan horizontal jauh lebih dominan dan berpengaruh terhadap proses cuaca. Pergerakan udara vertikal dapat terjadi bila terjadi konvergensi akibat topografi yang tidak rata atau akibat pergerakan udara siklon. Sedangkan pergerakan udara secara horizontal disebabkan oleh perbedaan tekanan udara atau gradien tekanan pada ketinggian yang relatif sama sehingga memicu sirkulasi udara konvektif. Pergerakan udara tidak selalu memerlukan udara, karena dapat dipengaruhi oleh kekuatan-kekuatan tertentu. Namun pergerakan udara yang terjadi dapat dipengaruhi oleh berbagai gaya, sehingga arahnya dapat berubah atau membelok akibat adanya gaya-gaya yang saling bertentangan. Oleh karena itu, adanya perbedaan suhu udara mengakibatkan perbedaan tekanan udara. Dimana udara yang bersuhu tinggi cenderung memuai dan naik ke atas, sehingga tekanannya menjadi lebih rendah dibandingkan udara di sekitarnya. Perbedaan tekanan ini menciptakan gradien tekanan yang menggerakkan angin. Udara akan berpindah dari daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah, dan semakin besar perbedaan tekanan maka semakin cepat udara bergerak [19].

Gaya biasanya dapat diukur per satuan massa udara (percepatan). Salah satu gaya utama yang menyebabkan terjadinya angin yaitu gaya gradien tekanan. Gaya tersebut muncul dikarenakan perbedaan tekanan akibat variasi suhu yang disebabkan oleh sinar matahari. Insolasi, atau radiasi matahari yang mencapai permukaan bumi, berbentuk energi gelombang pendek. Setelah mencapai permukaan bumi, energi ini dipancarkan kembali sebagai radiasi gelombang panjang dan digunakan untuk memanaskan lapisan atmosfer di dekat permukaan bumi. Intensitas radiasi matahari



berbeda-beda pada permukaan air, tanah dan permukaan lainnya, tergantung pada sifat material permukaan tersebut. Perbedaan intensitas ini menghasilkan perbedaan panas yang tercermin dari perbedaan suhu udara pada permukaan yang terkena sinar matahari [19].

Menurut BMKG dalam KEP Nomor. 009 Tahun 2010 memuat pengertian bencana alam ekstrem sebagai serangkaian bencana alam yang mengancam dan mempengaruhi kehidupan serta penghidupan masyarakat karena kondisi cuaca ekstrem, sehingga menimbulkan adanya korban jiwa, kerusakan lingkungan, kerugian materiil, dan dampak psikologis. Apabila kondisi cuaca ekstrim mengakibatkan suatu bencana, maka dapat dikategorikan sebagai bencana alam. Melalui Direktur BNPB dalam Peraturan Kajian Risiko Bencana dan Pedoman Umum Nomor 02 Tahun 2012 dijelaskan bahwa cuaca ekstrem mengacu pada kejadian darurat yang berpotensi menimbulkan bencana, terutama bencana yang disebabkan oleh angin salah satunya yaitu tornado. Di Indonesia, BNPB mengartikan cuaca ekstrim yang disebabkan oleh angin hanya sebatas angin puting beliung, karena Indonesia tidak termasuk dalam jalur badai seperti Amerika, China, Jepang dan Filipina, namun hanya menerima dampak tidak langsung atau dampak dari angin topan [18]. Meskipun Indonesia tidak termasuk dalam jalur siklon tropis, namun siklon tropis di sekitar Indonesia dapat mempengaruhi pola cuaca, terutama yang terjadi di barat laut Samudera Pasifik, tenggara Samudera Hindia, dan Australia [18].

Menurut Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), kondisi cuaca buruk seringkali terkait dengan beberapa jenis bahaya yang dapat menyebabkan bencana terkait angin, seperti tornado, siklon tropis, dan angin topan. Namun, tornado jarang terjadi di wilayah Indonesia, karena Indonesia tidak berada di jalur lintasan topan seperti Amerika Serikat, Tiongkok, Jepang, atau Filipina, sehingga hanya mengalami dampak topan atau efek sampingnya [18]. Tornado merupakan angin berputar dengan kecepatan berkisar 60-90 km/jam dan berlangsung selama 5-30 menit, yang disebabkan oleh perbedaan tekanan di sekitar atau di bawah awan Cumulonimbus (Cb) [20].

Tornado adalah salah satu peristiwa cuaca yang paling dahsyat dan merusak [12]. Tornado, puting Beliung, dan semburan air semuanya merupakan fenomena pusaran atmosfer. Namun diameter tornado dan *water spout* hanya berukuran ratusan meter, sedangkan diameter siklon bisa mencapai ratusan kilometer. Tornado terjadi di daratan, sedangkan siklon terbentuk di lautan luas. Istilah tornado digunakan secara lokal untuk angin puting beliung berskala kecil yang sering terjadi di Indonesia, sementara menurut BMKG Tahun 2009 *Water Spout* adalah angin puting beliung yang terjadi di atas permukaan air. Menurut Buku Resiko Bencana BNPB Indonesia (2016), faktor pemicu terjadinya tornado adalah perbedaan tekanan sistem cuaca yang berasal dari awan Cumulonimbus yang berwarna abu-abu tua dan menjulang tinggi. Tornado bisa terjadi kapan saja dan dimana saja, baik di darat maupun di laut. Apabila terjadi di lautan, durasinya cenderung lebih lama daripada di darat dan biasanya terjadi pada sore atau malam hari, bahkan terkadang pada malam hari, dan sering terjadi pada saat pergantian musim (pancaroba).

Tornado juga tidak hanya terjadi satu kali saja, namun dapat terjadi beberapa kali tergantung kondisi cuaca, dan seringkali disertai dengan angin kencang yang sulit dibedakan [21]. Oleh karena itu, diciptakanlah *Early Warning System* (EWS) sebagai solusinya. Sistem peringatan dini ini terdiri dari serangkaian sistem yang memberikan informasi mengenai fenomena alam, termasuk bencana dan tanda-tanda alam lainnya. Perancangan sistem ini mencakup struktur instrumen sederhana yang dapat mengukur kecepatan dan arah angin serta suhu [22]. Alat EWS untuk bencana tornado dipicu oleh lokasi geografis yang rentan terhadap bencana tersebut. Alat ini dilengkapi dengan 3 sensor utama yaitu sensor kecepatan angin, sensor arah angin,



dan sensor suhu yang dapat memprediksi kemungkinan terjadinya angin puting beliung.

Sistem peringatan dini merupakan serangkaian kegiatan yang bertujuan untuk memberikan informasi kepada masyarakat secepat mungkin mengenai kemungkinan terjadinya bencana di lokasi tertentu. Komponen sistem peringatan dini mencakup *knowledge* tentang risiko, layanan pemantauan dan peringatan, informasi dan komunikasi, kemampuan tanggap. Dalam mengembangkan dan memperkuat sistem peringatan dini, diperlukan perhatian besar terhadap struktur sosial, ekonomi dan lingkungan masyarakat sebagai inti dari paradigma perlawanan [23].

Implikasi alat *Early Warning System* (EWS) digunakan untuk mengukur kecepatan angin yang menyediakan berbagai macam alat. Salah satunya adalah alat umpan balik angin yang menggunakan baling-baling yang berputar. Perputaran baling-baling ini akan memberikan *feedback* yang ditampilkan pada layar untuk menunjukkan kecepatan angin. Semakin tinggi kecepatan putaran maka semakin tinggi pula kecepatan angin yang diukur. Alat ini juga berfungsi mendeteksi dini bahaya Tornado. Karena tornado merupakan salah satu bentuk cuaca ekstrem yang merusak dan berbahaya yang sering dikaitkan dengan badai petir hebat [24]. Tornado sendiri berputar dengan kecepatan berkisar 60-90 km/jam dan berlangsung selama 5-30 menit, yang disebabkan oleh perbedaan tekanan udara di sekitar atau di bawah awan Cumulonimbus (Cb) [25].

Bencana Tornado memiliki frekuensi yang relatif tinggi yaitu menyebabkan 21% dari seluruh bencana di Indonesia menurut Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) [26]. Tornado juga merupakan ancaman yang mengancam jiwa sehingga mempersulit upaya evakuasi dan perlindungan [27]. Sedangkan Undang-Undang Penanggulangan Bencana Nomor 24 Tahun 2007 bertujuan untuk melindungi masyarakat dari risiko bencana, dengan strategi pengembangan ketahanan bencana di desa/kelurahan melalui pengurangan risiko bencana berbasis komunitas (CBRD) [18]. Dalam manajemen risiko bencana berbasis masyarakat (PRBBK), masyarakat terlibat aktif dalam menilai, menganalisis, mengelola, memantau dan mengevaluasi risiko bencana untuk mengurangi kerentanan dan membangun kapasitas [28].

EWS (*Early Warning System*) merupakan sebuah sistem pemahaman tanda-tanda awal bencana yang kemudian akan disampaikan kepada masyarakat, sehingga masyarakat dapat melakukan persiapan untuk meminimalisir efek dari bencana tersebut. Untuk menciptakan EWS yang efektif untuk masyarakat dibutuhkan beberapa elemen, yakni; 1) pemahaman terkait bencana; 2) menganalisis atau memperkirakan bencana; 3) komunikasi dan koordinasi terhadap pengelolaan informasi yang terkait dengan tahapan bencana; 4) kemampuan masyarakat dalam merespon informasi adanya bahaya [29].

Upaya yang dapat dilakukan untuk mendeteksi tornado selain menggunakan alat EWS (*Early Warning System*) dapat juga dilakukan dengan menggunakan teknologi radar pendeteksi tornado yang sudah diteliti oleh Amerika Serikat dalam 20 tahun terakhir. Target pengembangan radar pendeteksi tornado ini untuk mencapai pemindaian cepat, resolusi spasial-temporal yang tinggi, dan perolehan presisi yang tinggi [16]. Layanan cuaca nasional juga memiliki peran yang cukup penting dalam memperingatkan masyarakat ketika cuaca berbahaya terjadi. Peringatan tornado menjadi salah satu produk yang paling banyak dilihat publik di NWS (*National Weather Service*) karena dampak social yang ditimbulkan oleh tornado yang cukup besar [17].

Simpulan

Cuaca buruk dapat menimbulkan beberapa bahaya yang dapat berpotensi menjadi bencana terkait angin seperti tornado, siklon tropis, dan angin topan. Meskipun



bencana angin topan ini tidak terjadi langsung di Indonesia akan tetapi, dampak tidak langsung masih tetap dapat dirasakan. Pergerakan udara akibat perbedaan tekanan atmosfer yang disebabkan oleh perbedaan suhu akibat radiasi matahari menjadi faktor pemicu cuaca buruk. BMKG Nomor KEP. 009 Tahun 2010 mendefinisikan bencana alam ekstrem sebagai serangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan masyarakat. Apabila kondisi cuaca buruk menimbulkan suatu bencana maka bencana tersebut termasuk bencana alam. Cuaca buruk yang menimbulkan bencana alam seperti puting beliung, tornado, dan siklon tropis yang dapat menyebabkan kerusakan fisik, kerugian materi, dan dampak psikologi bagi masyarakat. Oleh karena itu, pentingnya system peringatan dini (*Early Warning System*) dalam memberikan informasi kepada masyarakat tentang potensi bencana yang akan terjadi, sehingga mereka dapat melakukan persiapan untuk mengurangi risiko dari dampak bencana yang akan terjadi. Upaya-upaya yang dapat dilakukan seperti melakukan pengembangan teknologi radar pendeteksi tornado, peran layanan cuaca nasional (*National Weather Service*) dalam memberikan peringatan, dan membangun EWS yang efektif sebagai kunci untuk memahami tanda-tanda awal bencana dan meresponnya dengan tepat. EWS yang dilengkapi dengan sensor untuk mendeteksi angin, arah angin, dan suhu dapat mengurangi dampak dari bencana tornado. Selain itu teknologi radar pendeteksi tornado juga perlu dikembangkan untuk meningkatkan presisi dalam mendeteksi tornado dan memperingatkan masyarakat tentang tornado. Keterlibatan masyarakat secara aktif dalam upaya penanggulangan bencana juga menjadi hal penting, termasuk dalam pengkajian, analisis, pengelolaan, pemantauan, dan evaluasi risiko bencana, serta dalam pengembangan system peringatan dini.

Daftar Pustaka

- [1] V. Mishra, E. R. Anderson, S. Edwards, and R. E. Griffin, "Improving tornado casualty predictions in the US with population exposure data and a modified social vulnerability index," *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 87, p. 103588, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.ijdr.2023.103588.
- [2] Q. Huang, W. J. Jiang, and H. P. Hong, "Development of a simple equivalent tornado wind profile for structural design and evaluation," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 213, p. 104602, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.jweia.2021.104602.
- [3] R. Darman, "ANALISIS DATA KEJADIAN BENCANA ANGIN PUTING BELIUNG DENGAN METODE ONLINE ANALYTICAL PROCESSING (OLAP)," *SINTECH (Science and Information Technology) Journal*, vol. 2, no. 1, pp. 18–23, Apr. 2019, doi: 10.31598/sintechjournal.v2i1.298.
- [4] S. A. Stevenson, C. S. Miller, D. M. L. Sills, G. A. Kopp, D. M. Rhee, and F. T. Lombardo, "Assessment of wind speeds along the damage path of the Alonsa, Manitoba EF4 tornado on 3 August 2018," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 238, p. 105422, Jul. 2023, doi: 10.1016/j.jweia.2023.105422.
- [5] M. S. Rumetna, "PEMANFAATAN CLOUD COMPUTING PADA DUNIA BISNIS : STUDI LITERATUR THE UTILIZATION OF CLOUD COMPUTING IN THE WORLD OF BUSINESS," *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 5, no. 3, pp. 305–314, Aug. 2018, doi: 10.25126/jtiik.201853595.
- [6] N. Bennett, W. R. Borg, and M. D. Gall, "Educational Research: An Introduction," *British Journal of Educational Studies*, vol. 32, no. 3, p. 274, Oct. 1984, doi: 10.2307/3121583.



- [7] A. P. Satrianingrum, F. A. Setiawati, and P. Y. Fauziah, "Pembelajaran jarak jauh pada PAUD: studi literatur berbagai metode pembelajaran pada masa pandemi di berbagai tempat," *Jurnal Pendidikan Anak*, vol. 10, pp. 34–41, 2021.
- [8] R. A. Maulana, E. Kurniati, and H. Yulindrasari, "APA YANG MENYEBABKAN RENDAHNYA KEBERADAAN GURU LAKI-LAKI DI PAUD?," *JIV-Jurnal Ilmiah Visi*, vol. 15, no. 1, pp. 23–32, Jun. 2020, doi: 10.21009/JIV.1501.3.
- [9] H. Sulistiyawan, P. Imigrasi, A. Info, and A. History, "Tinjauan Literatur Sistem Antrian Menggunakan Metode PRISMA," vol. 7, pp. 4709–4718, 2024.
- [10] N. I. Fitriyani, "Metode PRISMA Untuk Memprediksi Penyakit Kanker Payudara," *JII: Jurnal Inovasi Informatika universitas Pradita*, vol. 6, pp. 13–8, 2021.
- [11] E. S. Bentley, R. L. Thompson, B. R. Bowers, J. G. Gibbs, and S. E. Nelson, "An Analysis of 2016–18 Tornadoes and National Weather Service Tornado Warnings across the Contiguous United States," *Weather Forecast*, vol. 36, no. 6, pp. 1909–1924, Dec. 2021, doi: 10.1175/WAF-D-20-0241.1.
- [12] S. W. Durage, S. C. Wirasinghe, and J. Ruwanpura, "Comparison of the Canadian and US tornado detection and warning systems," *Natural Hazards*, vol. 66, no. 1, pp. 117–137, Mar. 2013, doi: 10.1007/s11069-012-0168-7.
- [13] L. Jun, Z. Honggen, L. Jianbing, and L. Xinan, "Research on the Networking Strategy of Tornado Observation Network in Northern Jiangsu Based on X-band Weather Radar," in *2019 International Conference on Meteorology Observations (ICMO)*, IEEE, Dec. 2019, pp. 1–4. doi: 10.1109/ICMO49322.2019.9026077.
- [14] O. Rodríguez, J. Bech, J. Arús, S. Castán, F. Figuerola, and T. Rigo, "An overview of tornado and waterspout events in Catalonia (2000–2019)," *Atmos Res*, vol. 250, p. 105415, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.atmosres.2020.105415.
- [15] M. I. Oliveira, F. S. Puhales, E. L. Nascimento, and V. Anabor, "Integrated damage, visual, remote sensing, and environmental analysis of a strong tornado in southern Brazil," *Atmos Res*, vol. 274, p. 106188, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.atmosres.2022.106188.
- [16] L. Feng, L. Bai, T. Xiaowen, Z. Lin, and L. Ruiyi, "Kemajuan dalam Deteksi Tornado di Amerika Serikat dalam 20 Tahun Terakhir -Inspirasi untuk Studi Tornado di Tiongkok [近 20 年美国龙卷探测研究进展——对我国龙卷风研究的启示]," *Meteorological Monthly*, vol. 46 (2), pp. 245–256, 2020.
- [17] J. U. Chamberlain, M. D. Flournoy, M. J. Krocak, H. E. Brooks, and A. K. Anderson-Frey, "Analyzing Tornado Warning Performance during Individual Storm Life Cycles," *Weather Forecast*, vol. 38, no. 5, pp. 773–785, May 2023, doi: 10.1175/WAF-D-22-0142.1.
- [18] I. N. Saputro, F. A. Wakid, and S. S. Dewi, "Pembuatan sistem peringatan dini angin puting beliung di Desa Demakijo, Kecamatan Karangnongko, Kabupaten Klaten," *BEMAS: Jurnal Bermasyarakat*, vol. 4, no. 2, pp. 351–356, Mar. 2024, doi: 10.37373/bemas.v4i2.845.
- [19] Handoko, *Klimatologi dasar : landasan pemahaman fisika atmosfer dan unsur- unsur iklim*. Jakarta: Pustaka Jaya, 1995.
- [20] A. R. Karim, E. Kurniawan, and A. Sugiana, "Perancangan Sistem Peringatan Dini Banjir Berbasis Mikrokontroler Dan Short Message Service (Sms) Design System of Flood Early Warning Based on Microcontroller and Short Message Service (Sms)," *e-Proceeding of Engineering*, vol. 7, pp. 178–186, 2020.
- [21] M. L. Mahar, A. R. Al Tahtawi, and S. Sudrajat, "Perancangan dan Realisasi Anemometer Digital untuk Aplikasi Sistem Peringatan Dini," *Jurnal Teknologi Rekayasa*, vol. 2, no. 2, p. 91, Feb. 2018, doi: 10.31544/jtera.v2.i2.2017.91-96.
- [22] E. R. Alfatikh, "PENGEMBANGAN SENSOR KECEPATAN ANGIN UNTUK EARLY WARNING SYSTEM BAHAYA ANGIN KENCANG DI JEMBATAN



- SURAMADU," *JURNAL GEOGRAFI Geografi dan Pengajarannya*, vol. 17, no. 1, p. 11, Jun. 2019, doi: 10.26740/jggp.v17n1.p11-18.
- [23] D. Jose Moises and O. Kunguma, "Improving flood early warning systems in Kabbe, Namibia: A situational analysis approach," *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 93, p. 103765, Jul. 2023, doi: 10.1016/j.ijdr.2023.103765.
- [24] S. W. Durage, S. C. Wirasinghe, J. Y. Ruwanpura, L. Kattan, and S. Marshall, "Canadian Prairie Tornadoes – Preplanning for Warning Issuance & Initiation of Protective Measures," *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 14, pp. 556–563, Dec. 2015, doi: 10.1016/j.ijdr.2015.10.008.
- [25] R. Murdyaningrum, M. A. Novianta, and S. Priyambodo, "Sistem Deteksi Dini Angin Puting Beliung Berdasarkan Perubahan Kecepatan dan Arah Angin Berbasis Arduino Uno Dengan Informasi Sms Gateway," *Jurnal Elektrikal*, vol. 3, pp. 37–44, 2016.
- [26] S. B. Iryanthony, "Pengembangan modul kesiapsiagaan bencana angin puting beliung untuk mahasiswa pendidikan geografi Unnes," *Jurnal Geografi: Media Informasi Pengembangan Dan Profesi Kegeografian*, vol. 12, pp. 143--154, 2015.
- [27] D. Carroll-Smith *et al.*, "Forecasting tropical cyclone tornadoes and impacts: Report from IWTC-X," *Tropical Cyclone Research and Review*, vol. 12, no. 2, pp. 123–135, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.tcrr.2023.06.003.
- [28] E. T. Paripurno, *Panduan Pengelolaan Risiko Bencana Berbasis Komunitas (PRBBK)*. Masyarakat Penanggulangan Bencana Indonesia, 2014.
- [29] O. R. Danar, *Disaster governance: Sebuah pengantar*. Diva Press, 2020.