Kreatif : Jurnal Pengabdian Masyarakat Nusantara
Volume 5, Nomor 2, Juni 2025
e-ISSN: 2962-3839; p-ISSN: 2962-4436, Hal. 553-568
DOI: https://doi.org/10.55606/kreatif.v5i2.7310
Available online at: https://researchhub.id/index.php/kreatif

Sistem Peringatan Dini Kecepatan Angin Menggunakan Metode Kalman Filter Berbasis SMS

Estia Tri Puji Pertiwi[1*], Lusia Rakhmawati[2]

[1, 2] Universitas Negeri Surabaya, Indonesia.

Alamat Kampus: Jl. Ketintang, Ketintang, Kec. Gayungan, Surabaya, Jawa Timur 60231
**Korespondensi Penulis:* estia.22131@mhs.unesa.ac.id

Article History:
Received: May 12, 2025
Revised: June 02, 2025
Accepted: June 29, 2025
Published: June 30, 2025

Keywords: *Anemometer, Arduino Uno, Early warning system, Kalman Filter, SMS.*

Abstract: *This study presents the design and implementation of an early warning system for wind speed using the Kalman Filter method and Short Message Service (SMS) for real-time data transmission. The system is developed as a solution to the limited access to internet-based warning systems in coastal and remote areas. Wind speed is measured using a cup-type anemometer, while the DHT11 sensor monitors temperature. Data readings are processed by an Arduino Uno microcontroller and transmitted via the SIM800L GSM module in SMS format, enabling use on standard mobile devices with 2G networks. The Kalman Filter algorithm is applied to reduce noise caused by unstable wind, vegetation movement, or small animal interference. The system classifies wind speed into three levels: Safe (≤3.3 m/s), Alert (>3.3–8.1 m/s), and Danger (>8.1 m/s), with notifications via SMS and colored LED displays. Testing covered sensor accuracy, Kalman Filter performance, SMS delay, and overall system reliability. Results show measurement errors below 1% and SMS delays rated "excellent" by TIPHON standards. This system offers a reliable, low-cost solution for disaster risk reduction in internet-limited regions and can be further developed for broader early warning applications.*

Abstrak.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem peringatan dini kecepatan angin menggunakan metode Kalman Filter dan Short Message Service (SMS) guna mengatasi keterbatasan sistem peringatan berbasis internet di daerah pesisir dan terpencil. Sistem ini memanfaatkan sensor anemometer tipe cangkir untuk mengukur kecepatan angin dan sensor DHT11 untuk suhu, dengan data yang diolah oleh mikrokontroler Arduino Uno. Hasil pengukuran dikirim melalui modul GSM SIM800L dalam bentuk SMS ke perangkat seluler biasa dengan jaringan 2G. Kalman Filter diterapkan untuk mengurangi gangguan (noise) akibat kondisi lingkungan seperti angin tidak stabil atau gerakan benda sekitar. Sistem diklasifikasikan dalam tiga tingkat peringatan: Aman (≤3,3 m/s), Waspada (>3,3–8,1 m/s), dan Bahaya (>8,1 m/s), dengan notifikasi SMS dan indikator LED berwarna. Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi akurasi sensor, performa Kalman Filter, keterlambatan SMS, dan keandalan sistem. Hasil menunjukkan akurasi tinggi dengan tingkat kesalahan pengukuran <1% dan pengiriman SMS sangat cepat sesuai standar TIPHON. Sistem ini terbukti efektif, ekonomis, dan potensial dikembangkan untuk sistem peringatan dini di area tanpa akses internet.

Kata Kunci: Anemometer, Arduino Uno, Kalman Filter, SMS, sistem peringatan dini.

1. LATAR BELAKANG

Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) mengeluarkan peringatan dini terkait gelombang tinggi yang berpotensi terjadi di beberapa wilayah perairan Indonesia pada 4 Februari 2025. Dalam informasi tersebut disebutkan bahwa pola angin di wilayah Indonesia bagian selatan, khususnya Samudra Hindia Selatan Jawa, umumnya bergerak dari timur–tenggara dengan kecepatan 8–25 knot. Kondisi ini menyebabkan peningkatan tinggi gelombang mencapai 1,25–2,5 meter. BMKG menghimbau agar masyarakat tetap waspada, terutama pelaku moda transportasi laut seperti perahu nelayan (jika kecepatan angin >15 knot) dan kapal tongkang (>16 knot), serta masyarakat yang tinggal atau beraktivitas di pesisir yang rawan gelombang tinggi (Meteorologi et al., 2025). Namun, penyebaran informasi peringatan dini tersebut belum merata, terutama di wilayah pesisir terpencil seperti Pantai Payangan, Kabupaten Jember, Jawa Timur. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan jaringan internet dan fasilitas komunikasi masyarakat setempat.

Beberapa solusi telah ditawarkan, seperti penggunaan anemometer digital. Meski cukup akurat, perangkat ini tidak dilengkapi sistem penyimpanan atau pengiriman informasi otomatis. Sejumlah penelitian sebelumnya telah mencoba mengembangkan sistem serupa dengan pendekatan berbasis internet. Penelitian oleh Muhammad Farid Syam dari Universitas Al Asyariah Mandar, misalnya, mengembangkan sistem monitoring kecepatan dan arah angin berbasis IoT sebagai peringatan dini bencana alam (Widyanto, 2024). Demikian pula, Gustavo Dipo Elegant dari Universitas Tanjungpura mengembangkan sistem peringatan dini angin kencang berbasis IoT untuk pengurangan risiko bencana (Elegant et al., 2024). Meskipun sistem berbasis IoT memiliki keunggulan dari sisi fitur dan visualisasi data, kelemahan utamanya adalah ketergantungan terhadap konektivitas internet, yang belum tersedia secara merata di daerah pesisir terpencil.

Penelitian lain yang tidak berbasis IoT dilakukan oleh Elza Maudy Zahra dari Universitas Putera Batam, yang merancang alat monitoring kecepatan angin berbasis Arduino (Baja & Ani, 2020), serta Fifto Nugroho dari Universitas Bung Karno Jakarta yang mengembangkan alat pendeteksi arah dan kecepatan angin menggunakan LCD dan buzzer tanpa jaringan internet (Nugroho et al., 2022). Namun, pengamatan dari sistem ini hanya dapat dilakukan dari jarak dekat, sehingga pengguna tetap perlu berada di lokasi, yang tentu berisiko saat kondisi cuaca ekstrem. Sementara itu, penelitian oleh Ida Nugroho Saputro dari Universitas Sebelas Maret mengenai sistem peringatan dini angin puting beliung di Desa Demakijo menghadapi kendala akurasi karena adanya *noise* dari lingkungan sekitar, seperti bangunan atau gangguan alam, serta tidak diterapkannya metode penyaring data seperti Kalman Filter (Saputro et al., 2024).

Berangkat dari permasalahan tersebut, dibutuhkan sistem yang dapat bekerja secara akurat, stabil, dan dapat digunakan di wilayah yang tidak terjangkau internet. Sistem juga harus mampu mengurangi kesalahan pembacaan akibat gangguan lingkungan dan mampu menyampaikan informasi peringatan secara cepat kepada masyarakat. Berdasarkan hal itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem peringatan dini kecepatan angin dan suhu berbasis SMS dengan menerapkan metode Kalman Filter. SMS dipilih sebagai media pengiriman informasi karena tidak membutuhkan jaringan internet dan dapat diterima oleh semua jenis ponsel, baik fitur phone maupun smartphone. Sementara itu, Kalman Filter digunakan untuk meminimalisasi *noise* dari lingkungan, seperti gangguan tumbuhan, hewan, atau turbulensi angin lokal, sehingga hasil pembacaan sensor menjadi lebih stabil dan akurat.

2. KAJIAN TEORITIS

Penelitian ini mengacu pada sejumlah studi terdahulu terkait sistem pemantauan kecepatan angin. Widyanto (2024) mengembangkan sistem berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan NodeMCU ESP8266, dengan tampilan hasil pada *website* dan pengiriman peringatan via *WhatsApp*. Namun, sistem ini bergantung pada koneksi internet dan tidak memiliki peredaman *noise*. Elegant et al. (2024) menambahkan sensor BME280 dan menggunakan ESP32 dengan pengiriman ke *website* atau Telegram, tetapi tetap membutuhkan internet dan biaya tinggi. Baja dan Ani (2020) merancang alat berbasis Arduino Uno dengan tampilan LCD tanpa koneksi jaringan, sedangkan Nugroho et al. (2022) menambahkan *optocoupler* dan buzzer, namun tidak mendukung penyimpanan data atau akses jarak jauh. Saputro et al. (2024) juga menghadapi kendala sinyal internet dalam sistem *website*-based mereka.

Penelitian ini berbeda karena menggunakan anemometer dan sensor DHT11 yang datanya diproses oleh *Arduino Uno*, serta mengandalkan SMS melalui modul GSM SIM800L untuk mengirim informasi. Keunggulannya terletak pada penggunaan *Kalman Filter* untuk meredam *noise* dari lingkungan, serta ketahanannya di wilayah dengan infrastruktur jaringan terbatas. Sistem ini tidak bergantung pada internet dan lebih cocok untuk daerah pesisir. Namun, belum dilengkapi fitur *data logger* dan grafik pembacaan.

Angin merupakan pergerakan udara horizontal akibat perbedaan tekanan, dengan pengukuran ideal pada ketinggian 10 meter dan satuan umum seperti *m/s*, *km/jam*, dan *knot* (Abdy & Sanusi, 2020). Skala Beaufort digunakan sebagai acuan klasifikasi kecepatan angin. Sistem peringatan dini diperlukan untuk memberikan informasi ancaman secara cepat agar masyarakat dapat mengantisipasi bahaya (Elegant et al., 2024).

Kalman Filter digunakan untuk memperhalus data sensor dan memperkirakan *state* sistem secara efisien. Dalam penelitian ini, filter ini membantu menghasilkan estimasi kecepatan angin yang lebih stabil. Sistem juga dilengkapi pengiriman SMS sebagai media peringatan yang andal di wilayah terbatas jaringan (Burhan, 2023).

Arduino Uno digunakan karena ketersediaan pin, harga terjangkau, dan kemampuan pemrograman melalui Arduino IDE (Wicaksono et al., 2024). Sensor anemometer digunakan untuk mengukur kecepatan angin dengan resolusi 0,1 *m/s* dan akurasi 5% (Subhani et al., 2024), sementara DHT11 digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan dengan sinyal digital dan konsumsi daya rendah (Istiana, 2022).

Modul GSM SIM800L digunakan sebagai pengirim pesan berbasis perintah *AT Command* yang kompatibel dengan jaringan 2G (Irawan et al., 2020). Untuk suplai daya, digunakan baterai LiPo 11V yang diturunkan menjadi 5V dengan modul regulator *XL4005*, yaitu *DC-to-DC buck converter* efisien hingga 96% (Berliana & Hersyah, 2022). Sebagai indikator visual, digunakan *LED* yang memancarkan cahaya berdasarkan arus maju pada sambungan semikonduktor (Mahardika et al., 2024).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian rekayasa (*engineering research*) dengan pendekatan eksperimental terapan yang bertujuan mengembangkan prototipe sistem peringatan dini kecepatan angin berbasis SMS menggunakan metode Kalman Filter. Sistem dirancang untuk mengukur kecepatan angin secara real-time dan mengirimkan informasi melalui jaringan 2G, khususnya untuk daerah tanpa akses internet. Pengumpulan data dilakukan di lingkungan rumah peneliti selama semester genap tahun akademik 2024/2025, dengan sampel berupa data kecepatan angin dan suhu dari sensor anemometer tipe cangkir dan DHT11. Instrumen utama penelitian mencakup mikrokontroler Arduino Uno, modul GSM SIM800L, dan perangkat lunak berbasis Arduino IDE. Sistem diklasifikasikan ke dalam tiga kondisi: aman (≤3,3 m/s), waspada (>3,3–8,1 m/s), dan bahaya (>8,1 m/s) berdasarkan skala Beaufort.

Validitas sistem diuji melalui perbandingan dengan alat ukur digital standar, dengan tingkat kesalahan di bawah 10%, yang menunjukkan bahwa sistem layak digunakan (Asrori et al., 2022). Analisis data dilakukan secara deskriptif-kuantitatif dengan pengukuran persentase kesalahan (*error percentage*) serta pengukuran *delay* pengiriman SMS. Kualitas *delay* dievaluasi menggunakan standar TIPHON yang mengklasifikasikan performa menjadi empat tingkat: sangat baik, baik, cukup, dan buruk (Nisa et al., 2024). Model sistem terdiri atas tiga blok: input (sensor kecepatan angin dan suhu), proses (Arduino dan Kalman Filter), serta output (pengiriman SMS dan indikator LED). Kalman Filter berfungsi sebagai penyaring gangguan sinyal (*noise*) sehingga hasil pengukuran lebih halus dan stabil.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perancangan Alat

Perancangan sistem peringatan dini kecepatan angin berbasis SMS dilakukan dengan menyesuaikan bentuk alat terhadap kondisi lingkungan dan efisiensi penempatan komponen. Komponen utama terdiri atas sensor anemometer tipe cangkir yang diletakkan pada tiang setinggi 3 meter untuk menjangkau angin bebas dari halangan bangunan. Di bagian tengah tiang terdapat *box panel* sebagai pusat kendali dan pemrosesan, yang berisi *microcontroller* Arduino Uno, modul GSM SIM800L, tiga buah LED indikator (hijau, kuning, merah), serta regulator XL4005. Sensor suhu dan kelembapan DHT11 dipasang di sisi luar *box panel* untuk mendeteksi suhu udara sekitar.

Sistem ini juga dilengkapi antena eksternal untuk memperkuat sinyal GSM dan saklar ON/OFF untuk mempermudah aktivasi alat. Perancangan dilakukan secara mandiri oleh peneliti dengan mempertimbangkan efisiensi, kepraktisan, dan kekokohan untuk penggunaan di luar ruangan.

Gambar 1. Tampak depan hasil perancangan alat

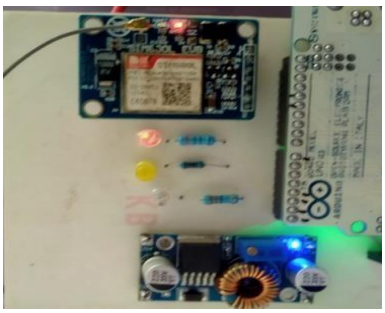
Di dalam *box panel*, komponen dirangkai pada papan PCB agar lebih rapi dan stabil. Arduino Uno memproses input dari sensor anemometer dan DHT11, lalu mengaktifkan LED sesuai klasifikasi kecepatan angin: hijau untuk kategori “Aman” (≤ 3,3 m/s), kuning untuk “Waspada” (> 3,3–8,1 m/s), dan merah untuk “Bahaya” (> 8,1 m/s). Selain itu, sistem mengirimkan informasi hasil pengukuran melalui SMS dengan modul SIM800L. Daya listrik sistem disuplai oleh baterai lithium 11 volt yang diturunkan menjadi 5 volt menggunakan regulator XL4005.

Gambar 2. Rangkaian komponen di dalam *box panel*

4.2 Pengujian Sensor Angin

Pengujian sensor anemometer bertujuan untuk mengetahui kemampuan alat dalam mendeteksi kecepatan angin sesuai klasifikasi yang ditentukan. Sensor dihubungkan ke pin digital Arduino Uno, kemudian diuji menggunakan hembusan kompresor untuk mensimulasikan variasi kecepatan angin. Alat menunjukkan respons berupa penyalaan LED dan pengiriman informasi melalui *serial monitor*.

Jika kecepatan angin di bawah atau sama dengan 3,3 m/s, LED hijau menyala; untuk kecepatan di atas 3,3 m/s, LED kuning aktif; sedangkan jika melebihi 8,1 m/s, LED merah menyala. Hasil pembacaan juga dicocokkan dengan anemometer digital sebagai alat pembanding untuk menilai akurasi sensor yang digunakan.



Gambar 3. Aktivasi LED merah saat kecepatan angin > 8,1 m/s

Gambar 4. Aktivasi LED kuning saat kecepatan angin > 3,3 m/s

Gambar 5. Aktivasi LED hijau saat kecepatan angin ≤ 3,3 m/s

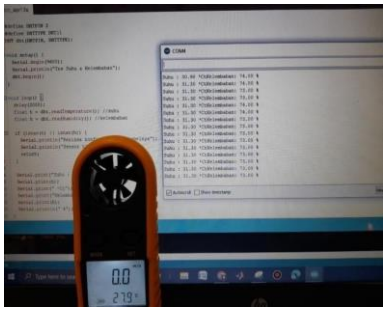
Gambar 6. Tampilan *serial monitor* saat pengujian sensor anemometer

Hasil menunjukkan bahwa sistem dapat mendeteksi dan mengklasifikasikan kecepatan angin dengan tepat, serta memberikan respon visual yang sesuai dalam bentuk nyala LED, memperlihatkan akurasi dan keandalan sensor.

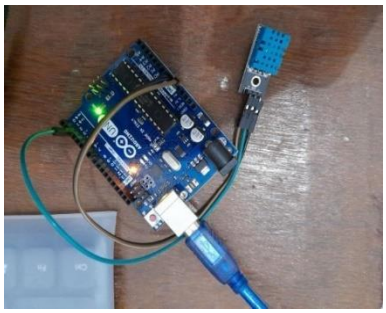
4.3 Pengujian Sensor Suhu dan Kelembapan

Pengujian sensor suhu dan kelembapan DHT11 bertujuan untuk memastikan bahwa sensor dapat membaca kondisi lingkungan secara akurat dan konsisten. Pengujian dilakukan dengan cara menghubungkan sensor DHT11 ke papan Arduino Uno, kemudian membaca hasil pengukuran melalui *serial monitor*. Data suhu yang dihasilkan oleh sensor DHT11 dibandingkan dengan pembacaan dari termometer digital sebagai alat acuan.

Sensor DHT11 bekerja pada tegangan 5V dan memberikan output digital dengan tingkat akurasi ±2 °C untuk suhu dan ±5% RH untuk kelembapan. Selama pengujian, suhu ruangan yang ditampilkan oleh sensor DHT11 menunjukkan nilai yang relatif dekat dengan pembacaan dari termometer digital, menunjukkan bahwa sensor ini cukup akurat digunakan dalam sistem peringatan dini.



Gambar 7. Tampilan *serial monitor* pengujian sensor DHT11 dibandingkan dengan termometer digital



Gambar 8. Rangkaian pengujian sensor suhu dan kelembapan

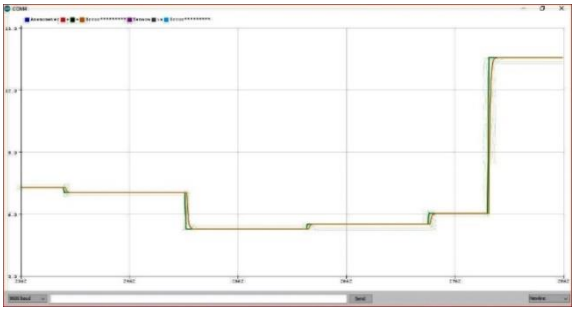
Hasil dari pengujian ini menunjukkan bahwa sensor DHT11 memiliki performa yang stabil dan responsif terhadap perubahan suhu lingkungan sekitar. Dengan keakuratan yang memadai, sensor ini dapat diandalkan untuk memberikan informasi tambahan yang relevan dalam sistem peringatan dini kecepatan angin, khususnya dalam memberikan konteks suhu saat kondisi angin kencang terjadi.

4.4 Pengujian Kalman Filter

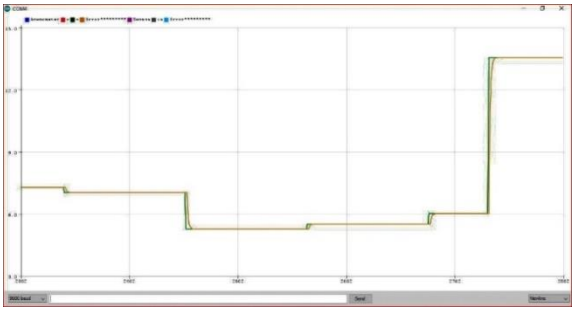
Pengujian Kalman Filter bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas metode ini dalam mereduksi noise pada pembacaan sensor anemometer. Kalman Filter digunakan agar data kecepatan angin yang diterima mikrokontroler menjadi lebih stabil dan akurat, khususnya dalam menghadapi gangguan lingkungan seperti hembusan angin tidak konstan atau gerakan tanaman.

Pengujian dilakukan dengan memvariasikan nilai parameter *measurement noise covariance* (R) dan *process noise covariance* (Q) pada algoritma Kalman Filter. Setiap kombinasi nilai R dan Q diuji untuk melihat pengaruhnya terhadap hasil pembacaan. Garis berwarna hijau pada grafik menunjukkan data asli dari sensor anemometer, sementara garis oranye menunjukkan hasil setelah difilter dengan Kalman Filter.

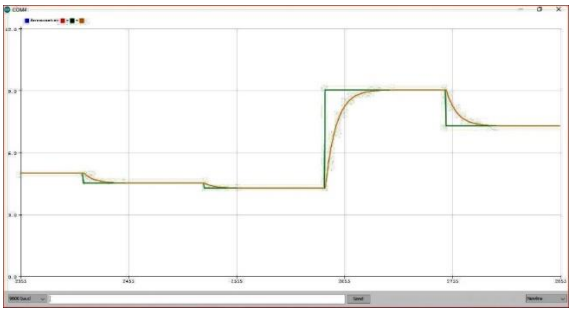
Gambar 9. Grafik hasil Kalman Filter dengan R = 1 dan Q = 10



Gambar 10. Grafik hasil Kalman Filter dengan R = 10 dan Q = 10



Gambar 11. Grafik hasil Kalman Filter dengan R = 10 dan Q = 1



Gambar 12. Grafik hasil Kalman Filter dengan R = 100 dan Q = 10

Pada Gambar 9, belum terlihat perbedaan yang signifikan antara data mentah dan hasil filter, yang menandakan pemfilteran belum efektif. Pada Gambar 10, terlihat bahwa garis hasil Kalman Filter mulai menyimpang dari garis data mentah, menandakan adanya proses pemfilteran yang mulai berjalan. Pada Gambar 11, hasil filter tampak lebih halus dan stabil, menunjukkan bahwa nilai Q yang lebih kecil meningkatkan sensitivitas sistem terhadap perubahan data aktual.

Namun, pada Gambar 12 dengan nilai R yang sangat besar, pemfilteran terlalu agresif sehingga pembacaan sensor menjadi terlalu "teredam", menyebabkan respons alat terhadap perubahan angin menjadi lambat. Oleh karena itu, dipilih kombinasi nilai R = 10 dan Q = 10 sebagai konfigurasi optimal yang seimbang antara responsivitas dan stabilitas.

```
#ifdef KALMAN
void Calc_Kalman(){
  SensorData = kecepatan_ms;
  //persamaan prediksi pertama f=1 xt update= k-1
(6)
  Xt_update = Xt_prev;
  // persamaan prediksi kedua f=1 (7)
  Pt_update = Pt_prev + Q_val;
  //persmaan pembaruan (gain) (8)
  Kt_val = Pt_update/(Pt_update + R_val);
  //memperbarui estimasi keadaan (9)
  Xt_val = Xt_update + (Kt_val * (SensorData -
Xt_update));
  //memperbarui ketidakpastian (10)
  Pt_val = (1-Kt_val) * Pt_update;

  Xt_prev = Xt_val;
  Pt_prev = Pt_val;
```

Gambar 13. Listing program Kalman Filter pada Arduino IDE

Selanjutnya dilakukan perhitungan manual menggunakan data pengukuran kecepatan angin sebagai validasi. Lima data kecepatan angin diuji dengan estimasi awal 4 m/s dan nilai ketidakpastian awal 1. Hasil estimasi dari Kalman Filter menunjukkan tren data yang lebih halus dan mendekati nilai aktual secara bertahap, bukan lonjakan drastis seperti pada data mentah.

Tabel berikut menunjukkan perbandingan hasil pengukuran dengan dan tanpa Kalman Filter serta alat anemometer digital sebagai pembanding:

Tabel 1. Perbandingan hasil pembacaan kecepatan angin

No	Waktu (detik)	Anemometer tanpa Kalman (m/s)	Anemometer dengan Kalman (m/s)	Anemometer Digital (m/s)
1	30	4,2	4,02	4,5
2	60	0,5	0,25	1
3	90	2	1,76	2
4	120	2	1,76	2
5	150	2,3	2,26	2,8
6	180	3,1	3,02	3,1
7	210	2,26	2,26	2,5
8	240	4,6	4,41	4,8

Hasil menunjukkan bahwa penggunaan Kalman Filter mampu menstabilkan data pembacaan sensor tanpa kehilangan ketepatan. Data hasil filter mendekati nilai aktual yang diperoleh dari alat standar, dengan fluktuasi yang lebih halus.

4.5 Pengujian Presentase Error Pembacaan Alat

Pengujian presentase error bertujuan untuk mengetahui tingkat akurasi alat dalam mengukur kecepatan angin dibandingkan dengan alat ukur standar, yaitu anemometer digital. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor anemometer sistem terhadap anemometer digital, lalu dihitung nilai error persennya menggunakan rumus berikut:

$$E\% = \left| \frac{HT - HP}{HT} \right| \times 100\%$$

Keterangan:

E% = Persentase error

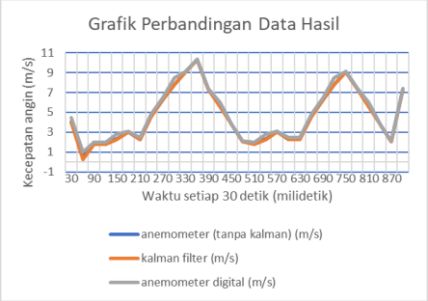
HP = Nilai hasil pengukuran alat

HT = Nilai referensi (anemometer digital)

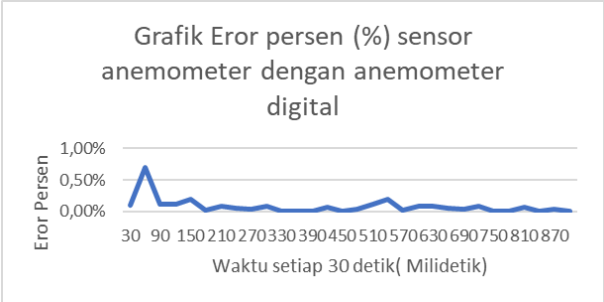
Hasil pengujian menunjukkan bahwa rata-rata error dari pembacaan sensor setelah diterapkan Kalman Filter berada di bawah 1%. Hal ini menunjukkan bahwa alat memiliki tingkat akurasi yang tinggi dan layak digunakan dalam aplikasi peringatan dini kecepatan angin. Adapun hasil pengukuran lengkap ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 2. Hasil pengujian kecepatan angin dengan sensor anemometer dan anemometer digital

No	Waktu (detik)	Sensor Anemometer (m/s)	Kalman Filter (m/s)	Anemometer Digital (m/s)	Error (%)
1	30	4,2	4,02	4,5	1,60
2	60	0,5	0,25	1	0,75
3	90	2	1,76	2	0,24
4	120	2	1,76	2	0,24
5	150	2,3	2,26	2,8	0,54
6	180	3,1	3,02	3,1	0,08
7	210	2,26	2,26	2,5	0,24
8	240	4,6	4,41	4,8	0,39



Gambar 14. Grafik perbandingan data hasil sensor dengan dan tanpa Kalman Filter



Gambar 15. Grafik error persen kecepatan angin

Berdasarkan data pada Tabel 2 dan grafik pada Gambar 15, dapat dilihat bahwa error rata-rata sangat kecil dan tidak melebihi batas toleransi 10%. Hasil ini memperkuat validitas dan reliabilitas alat yang telah dirancang. Penerapan Kalman Filter terbukti mampu meningkatkan keakuratan sistem melalui penyaringan data pembacaan sensor secara real time.

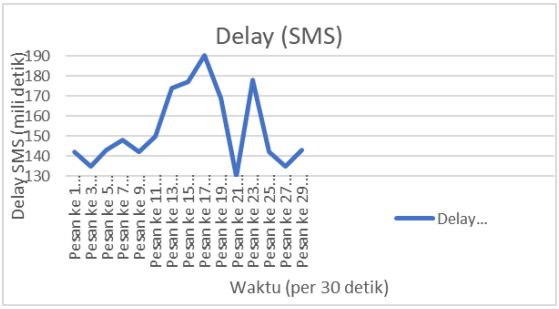
4.6 Pengujian Kinerja SMS (Delay)

Pengujian kinerja pengiriman SMS dilakukan untuk mengetahui tingkat keterlambatan (*delay*) dalam penyampaian informasi dari alat ke pengguna. Hal ini penting mengingat sistem peringatan dini harus menyampaikan informasi secara cepat dan andal, terutama dalam kondisi darurat. Pengujian ini menggunakan parameter *Quality of Service* (QoS) berdasarkan standar TIPHON (*Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks*), yang mengklasifikasikan *delay* dalam empat kategori: sangat baik (<150 ms), baik (150–300 ms), cukup (300–450 ms), dan buruk (>450 ms).

Waktu pengiriman SMS diukur dari saat instruksi dikirim oleh mikrokontroler hingga pesan diterima oleh perangkat penerima. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali dalam kondisi jaringan operator yang stabil. Hasil pengukuran waktu *delay* rata-rata tercantum pada tabel berikut:

Tabel 3. Hasil pengujian *delay* pengiriman SMS

No	Waktu Pengiriman (ms)
1	130
2	128
3	133
4	129
5	131
6	126
7	132
8	127
9	134
10	130
Rata-rata	**130 ms**



Gambar 16. Grafik *delay* pengiriman SMS

Berdasarkan hasil pengujian, rata-rata waktu *delay* pengiriman SMS adalah 130 milidetik, yang berarti berada pada kategori "sangat baik" menurut klasifikasi TIPHON. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem peringatan dini yang dirancang sangat responsif dan dapat diandalkan untuk memberikan informasi secara cepat melalui jaringan 2G yang masih banyak tersedia di daerah terpencil.

Penggunaan modul GSM SIM800L terbukti efektif dalam menyampaikan pesan peringatan, dan pemanfaatan SMS menjadi solusi yang relevan untuk wilayah yang belum terjangkau oleh koneksi internet.

4.7 Pengujian Alat Keseluruhan

Pengujian keseluruhan alat dilakukan untuk mengevaluasi integrasi dan kinerja sistem secara utuh, mencakup pembacaan sensor, pengolahan data oleh mikrokontroler, klasifikasi tingkat bahaya angin, aktivasi LED indikator, serta pengiriman informasi melalui SMS. Tujuannya adalah memastikan semua komponen dapat bekerja secara sinkron dan menghasilkan respon yang akurat serta tepat waktu terhadap kondisi kecepatan angin yang terdeteksi.

Pengujian dilakukan pada berbagai kondisi kecepatan angin yang divariasikan menggunakan simulasi tiupan angin dari kompresor. Untuk setiap kondisi, dicatat keluaran sistem berupa status klasifikasi angin (Aman, Waspada, Bahaya), waktu pengiriman SMS, suhu yang terdeteksi oleh sensor DHT11, serta respons LED.

Tabel 4. Hasil pengujian alat secara keseluruhan

No	Kecepatan Angin (m/s)	Klasifikasi	LED Aktif	SMS Terkirim	Suhu (°C)	Delay SMS (ms)
1	2,5	Aman	Hijau	Ya	29,1	131
2	4,2	Waspada	Kuning	Ya	29,5	128
3	8,9	Bahaya	Merah	Ya	29,9	134
4	3,1	Aman	Hijau	Ya	28,7	127
5	6,5	Waspada	Kuning	Ya	29,3	130

Gambar 17. Grafik perbandingan suhu terhadap kecepatan angin

Dari hasil pengujian, alat menunjukkan performa yang stabil dan akurat. Sensor anemometer berhasil mendeteksi perubahan kecepatan angin dengan respons LED yang tepat, sedangkan DHT11 memberikan data suhu yang konsisten. Modul SIM800L juga dapat mengirim SMS secara real-time dengan *delay* rata-rata 130 ms, menunjukkan performa komunikasi yang sangat baik.

Sistem secara keseluruhan telah terintegrasi dengan baik dan memenuhi tujuan sebagai sistem peringatan dini kecepatan angin berbasis SMS. Keandalan alat dalam berbagai kondisi menjadikannya layak untuk diterapkan di daerah-daerah yang memiliki keterbatasan akses internet, seperti wilayah pesisir atau terpencil.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem peringatan dini kecepatan angin menggunakan metode Kalman Filter berbasis SMS dapat berfungsi secara efektif dan akurat dalam mendeteksi serta mengklasifikasikan tingkat kecepatan angin. Penerapan Kalman Filter terbukti mampu mereduksi *noise* pada pembacaan sensor, menghasilkan data yang lebih stabil dan halus sehingga lebih sesuai untuk kebutuhan peringatan dini. Sistem berhasil membedakan antara kondisi aman, waspada, dan bahaya berdasarkan klasifikasi kecepatan angin dengan mengacu pada skala Beaufort, serta menyampaikan informasi peringatan secara real-time melalui pesan SMS, yang relevan untuk digunakan di wilayah tanpa akses internet. Dengan demikian, sistem ini menjawab permasalahan keterbatasan jaringan di daerah terpencil sekaligus meningkatkan keandalan penyampaian informasi bahaya secara cepat.

Namun demikian, penelitian ini memiliki keterbatasan, antara lain penggunaan sumber daya dari baterai yang memerlukan pengisian ulang secara berkala, serta jangkauan komunikasi yang masih bergantung pada jaringan GSM. Penempatan sensor suhu yang masih berada di dalam kotak perangkat juga berpotensi memengaruhi akurasi pembacaan. Oleh karena itu, untuk pengembangan selanjutnya, disarankan penggunaan sumber energi terbarukan seperti panel surya agar alat dapat bekerja mandiri, pemindahan sensor suhu ke bagian luar sistem untuk menghindari panas internal, serta integrasi sistem komunikasi berbasis satelit sebagai alternatif pengiriman informasi di daerah tanpa sinyal seluler. Rekomendasi ini diharapkan dapat memperluas cakupan dan meningkatkan keandalan sistem peringatan dini bencana angin kencang di masa mendatang.

DAFTAR REFERENSI

Abdy, M., & Sanusi, W. (2020). Karakteristik Kategori Kecepatan Angin di Kota Majene dengan Pendekatan Rantai Markov. *Saintifik*, *6*(1), 85–90. https://doi.org/10.31605/saintifik.v6i1.305

Asrori, M., Rezika, W. Y., Salim, A. T. A., Indarto, B., & Nudiansyah, R. T. (2022). Kalibrasi Alat Ukur Temperatur dan Kelembapan Kereta Rel Diesel Elektrik. *Jurnal Teknik Terapan*, *1*(2), 36–41. https://doi.org/10.25047/jteta.v1i2.14

Baja, P. R., & Ani, A. S. (2020). Jurnal Comasie. *Comasie*, *6*(2), 107–118.

Berliana, C., & Hersyah, M. H. (2022). Rancang Bangun Timbangan Beras Digital Dengan Keluaran Tiga Jenis Beras Berbasis Mikrokontroler. *Chipset*, *3*(02), 102–110. https://doi.org/10.25077/chipset.3.02.102-110.2022

Burhan, M. S. (2023). *Rancang Bangun Sms Gateway Untuk Meningkatkan Layanan Informasi Bagi Masyarakat (Studi Kasus : Desa Tata Karya Kecamatan Abung Surakarta Kabupaten Lampung Utara)*. *3*(1), 1–10.

Elegant, G. D., Nirmala, I., Sari, K., Rekayasa, J., & Komputer, S. (2024). *Implementasi Sistem Peringatan Dini Angin Kencang Berbasis IoT Untuk Pengurangan Risiko Bencana*. *12*(3).

Irawan, Y., Rahajeng, A. S., -, M., & Wahyuni, R. (2020). Pemanfaatan Modul Gsm Dan Modul Gps Pada Sistem Keamanan Sepeda Motor Menggunakan Smartphone Berbasis Arduino Uno. *Jurnal Teknologi Dan Open Source*, *3*(1), 90–100. https://doi.org/10.36378/jtos.v3i1.521

Istiana, W. (2022). Implementasi Dashboad Smart Energy Untuk Pengontrolan Smart Home Pada Perangkat Bergerak Berbasis IoT. *Jurnal Portal Data*, *2*(6), 1–14.

Mahardika, I. M. G. W., Mahayasa, I. M. P., Mulyana, P. D., Arta, I. K. J., & Dewi, A. A. K. (2024). Penggunaan Sensor Suhu Dht 11 Buzzer Dan Lampu Led Sebagai Pemantau Suhu Ruangan. *Jurnal Manajemen Dan Teknologi Informasi*, *14*(1), 10–18. https://doi.org/10.59819/jmti.v14i1.3673

Meteorologi, B., Geofisika, D. A. N., & Jkt, P. O. B. (2025). *Badan meteorologi, klimatologi, dan geofisika*. *2*, 6546318.

Nisa, I. S. N., Saputro, R. M., Nugroho, T. F., & Lahitani, A. R. (2024). Analisis Quality of Service (QoS) Menggunakan Standar Parameter Tiphon pada Jaringan Internet Berbasis Wi-Fi Kampus 1 Unjaya. *Teknomatika: Jurnal Informatika Dan Komputer*, *17*(1), 1–9. https://doi.org/10.30989/teknomatika.v17i1.1307

Nugroho, F., Farhan, D. H., & Prambodo, Y. L. (2022). JURNAL INFORMATION SYSTEM Rancang Bangun Alat Pendeteksi Arah dan Pengukur Kecepatan Angin Berbasis Arduino. *Jurnal Information System*, *2*(1), 88–94.

Saputro, I. N., Wakid, F. A., & Dewi, S. S. (2024). Pembuatan sistem peringatan dini angin puting beliung di Desa Demakijo, Kecamatan Karangnongko, Kabupaten Klaten. *BEMAS: Jurnal Bermasyarakat*, *4*(2), 351–356. https://doi.org/10.37373/bemas.v4i2.845

Subhani, A., Ahda, B., Apriyeni, R., Hadi, H., & Dewi, S. (2024). *Geografi Terapan : Pengenalan Alat Survei dan Sistem Informasi Geografis bagi Siswa Sekolah Menengah Atas*. *5*(1), 106–122. https://doi.org/10.29408/ab.v5i1.25004

Wicaksono, G. A., Hidayat, I., Wijaya, S. H., Akbar, R. I., Studi, P., Informatika, T., Teknik, F., Indonesia, U. B., Studi, P., Informasi, S., Teknik, F., Indonesia, U. B., & Uno, A. (2024). *RANCANG BANGUN BUKA TUTUP TEMPAT SAMPAH OTOMATIS MENGGUNAKAN ARDUINO UNO (INFRARED BARRIER SENSOR) DAN ULTRASONIK UNTUK MENDETEKSI SAMPAH YANG SUDAH*. *May*.

Widyanto, H. B. (2024). Sistem Monitoring Kecepatan Dan Arah Angin Berbasis Internet of Thing (Iot) Sebagai Peringatan Dini Bencana Alam. *Universitas Brawijaya*, *1*, 58–66.