

PEMANFAATAN ARDUINO DAN SENSOR KY-038 UNTUK MEMBEDAKAN SUARA MESIN CHAINSAW DAN MESIN LAIN DI AREA PEMBALAKAN LIAR

Hendri¹, Mutmainnah Muchtar^{2*}, Sarimuhammad³

^{1,2,3}Universitas Sembilanbelas November Kolaka, Jl. Pemuda Tahoa No.339, Kolaka, Sultra

Keywords:

Chainsaw;
KNN;
KY-038;
Illegal logging;
Sound detection.

Correspondent Email:

muchtarmutmainnah@gmail.com

Abstrak. Pembalakan liar merupakan masalah lingkungan signifikan di Indonesia, terutama di hutan tropis Sulawesi Tenggara, yang mengancam keanekaragaman hayati dan berkontribusi terhadap perubahan iklim global. Pemantauan manual terhadap aktivitas ilegal di daerah terpencil seringkali kurang efektif, sehingga diperlukan solusi inovatif dan real-time untuk deteksi dini. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem deteksi dini untuk membedakan suara mesin chainsaw yang sering digunakan dalam aktivitas pembalakan liar dari suara mesin lainnya seperti motor RX King dan perahu ketinting. Sensor suara KY-038 yang terhubung dengan Arduino digunakan untuk menangkap suara dari lingkungan, dan data yang diperoleh diklasifikasikan menggunakan algoritma K-Nearest Neighbors (KNN). Eksperimen dilakukan dengan mengumpulkan data latih dan menguji sistem dengan sampel suara dari masing-masing mesin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem deteksi suara yang dikembangkan mampu mengklasifikasikan suara chainsaw, motor RX King, dan perahu ketinting dengan performa yang baik. Dengan nilai k optimal pada KNN, akurasi klasifikasi rata-rata mencapai 90%. Sistem ini dapat digunakan sebagai alat pemantauan efektif untuk deteksi dini aktivitas pembalakan liar, sebagai upaya pelestarian hutan tropis.



JITET is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

Abstract. Illegal logging is a significant environmental issue in Indonesia, particularly in the tropical forests of Southeast Sulawesi, which threatens biodiversity and contributes to global climate change. Manual monitoring of illegal activities in remote areas is often ineffective, necessitating innovative and real-time solutions for early detection. This study aims to develop an early detection system to distinguish the sound of chainsaws commonly used in illegal logging activities from other machine sounds such as RX King motorcycles and ketinting boats. The KY-038 sound sensor connected to an Arduino was used to capture environmental sounds, and the obtained data was classified using the K-Nearest Neighbors (KNN) algorithm. Experiments were conducted by collecting training data and testing the system with sound samples from each machine. The results showed that the developed sound detection system could classify the sounds of chainsaws, RX King motorcycles, and ketinting boats with good performance. With the optimal k value in KNN, the average classification accuracy reached 100%. This system can be used as an effective monitoring tool for the early detection of illegal logging activities, contributing to the conservation of tropical forests.

1. PENDAHULUAN

Pembalakan liar merupakan salah satu masalah lingkungan yang signifikan di Indonesia, terutama di daerah-daerah hutan tropis yang kaya akan keanekaragaman hayati, salah satunya di wilayah provinsi Sulawesi Tenggara[1], [2]. Aktivitas ini tidak hanya menyebabkan kerusakan ekosistem yang parah, tetapi juga mengancam spesies flora dan fauna yang terancam punah, serta mengurangi kemampuan hutan untuk menyerap karbon dioksida, yang berkontribusi terhadap perubahan iklim global[3]. Salah satu tantangan utama dalam memerangi pembalakan liar adalah deteksi dini aktivitas ini. Pembalakan liar sering terjadi di lokasi yang terpencil dan sulit dijangkau, sehingga pemantauan manual menjadi tidak efektif dan mahal. Oleh karena itu, diperlukan solusi inovatif yang dapat mendeteksi aktivitas pembalakan liar secara otomatis dan real-time[4], [5]. Teknologi deteksi suara telah muncul sebagai salah satu pendekatan yang menjanjikan untuk memantau aktivitas di hutan[6], [7], [8].

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem deteksi dini yang mampu membedakan suara mesin *chainsaw*, yang sering digunakan dalam pembalakan liar, dari suara mesin lainnya seperti motor RX King dan perahu ketinting. *Chainsaw* adalah sebuah alat mekanis yang digunakan untuk memotong atau menebang pohon dengan cepat dan efisien[9], [10]. Motor RX King adalah sepeda motor yang sering digunakan dalam kegiatan sehari-hari di Indonesia, terkenal dengan kekuatan mesinnya yang besar. Sementara perahu ketinting adalah jenis perahu tradisional yang banyak digunakan di wilayah-wilayah pesisir dan sungai di Indonesia, biasanya digunakan untuk transportasi atau penangkapan ikan. Meskipun *chainsaw*, motor RX King, dan perahu ketinting memiliki fungsi dan penggunaan yang berbeda, suara yang dihasilkan oleh mesin-mesin ini seringkali mirip dan sulit dibedakan satu sama lain. Hubungannya dengan pembalakan liar terletak pada fakta bahwa suara dari ketiga jenis mesin ini sering terdengar di lingkungan hutan yang terisolasi, dan seringkali merupakan indikator kegiatan pembalakan ilegal. Oleh karena itu, deteksi suara yang akurat dan pemisahan antara suara *chainsaw* dan suara mesin lainnya menjadi penting dalam upaya memonitor dan

mencegah aktivitas pembalakan liar di daerah-daerah tersebut. Untuk mencapai tujuan ini, digunakan sensor suara KY-038 yang terhubung dengan Arduino untuk menangkap suara dari lingkungan. Data suara yang diperoleh kemudian diolah dan diklasifikasikan menggunakan algoritma K-Nearest Neighbors (KNN) untuk memastikan akurasi dalam identifikasi jenis suara.

Sejumlah penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan teknologi pemantauan dan deteksi aktivitas ilegal di hutan. Beberapa di antaranya termasuk penggunaan deteksi akustik untuk pemantauan hutan dan penerapan metode K-Nearest Neighbors (KNN) untuk klasifikasi suara. Prasetyo et al. [11] mengembangkan prototipe sistem untuk mendeteksi kejadian pembalakan liar. Sistem ini menggunakan kombinasi sensor suara dan sensor getaran. Sensor suara digunakan untuk mendeteksi suara gergaji, sedangkan sensor getaran digunakan untuk mendeteksi pohon yang tumbang. Fadhillah dan Sumiharto [12] mengembangkan sistem klasifikasi suara berbasis Raspberry Pi 3B+ untuk memantau aktivitas suara di hutan, yang mampu mendeteksi suara *chainsaw*, suara tembakan dan suara 8 jenis burung. Aide et al. [13] menggunakan jaringan sensor akustik untuk memantau biodiversitas dan aktivitas manusia di hutan tropis, dengan hasil yang cukup akurat dalam mendeteksi suara *chainsaw* dan aktivitas manusia lainnya. Gnamele et al. [9] membandingkan dua metode klasifikasi, yaitu SVM (Support Vector Machine) dan KNN (K-Nearest Neighbors), yang digabungkan dengan MFCC (Mel-Frequency Cepstral Coefficients) untuk mendeteksi suara *chainsaw* di lingkungan hutan. Czuni dan Varga [10] menyajikan analisis algoritma pemrosesan sinyal berkompleksitas rendah yang mampu mengidentifikasi suara khusus seperti suara mesin-mesin pembalakan dengan hasil yang memuaskan.

Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang tidak secara khusus menargetkan perbedaan suara antara *chainsaw* dan mesin lainnya, yaitu mesin perahu ketinting dan mesin motor RX King yang sering kali disalahartikan sebagai suara mesin *chainsaw*. Maka penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem deteksi suara yang mampu membedakan suara mesin *chainsaw* dari suara mesin lainnya yang sering ditemukan di area pembalakan liar utamanya di

Sulawesi Tenggara. Penelitian ini dilakukan sebagai langkah awal dalam sistem deteksi suara yang mampu membedakan suara mesin *chainsaw* dan mesin lainnya yang umumnya ada di sekitar area pembalakan liar. Dengan memanfaatkan sensor suara KY-038 berbasis Arduino dan *plug-in Data Streamer* di *Microsoft Excel*, sistem ini diharapkan dapat memberikan deteksi dan klasifikasi yang akurat, sehingga dapat digunakan sebagai alat untuk mencegah aktivitas pembalakan liar. Penelitian ini juga akan menilai efektivitas penggunaan sensor KY-038 dalam deteksi suara di lingkungan hutan, menguji keakuratan metode KNN dalam klasifikasi jenis suara mesin yang berbeda, serta mengembangkan prototipe sistem yang dapat diimplementasikan di lapangan untuk mendukung upaya awal konservasi hutan di Indonesia.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pembalakan Liar

Pembalakan liar merupakan aktivitas penebangan pohon secara ilegal tanpa izin yang sah, dan telah menjadi ancaman serius bagi kelestarian hutan tropis di Indonesia. Praktik ini tidak hanya merusak ekosistem hutan dan mengancam keanekaragaman hayati, tetapi juga berkontribusi terhadap emisi karbon yang mempercepat perubahan iklim global. Di wilayah seperti Sulawesi Tenggara, pembalakan liar kerap terjadi di kawasan terpencil yang sulit dijangkau, sehingga sulit terpantau oleh aparat atau sistem pengawasan konvensional [14]. Upaya penanggulangan pembalakan liar memerlukan pendekatan berbasis teknologi untuk meningkatkan deteksi dini dan pengawasan secara *real-time*.

2.2. Arduino

Arduino adalah sebuah *platform* perangkat keras dan perangkat lunak *open-source* yang dirancang untuk mempermudah pembuatan *prototype* elektronik dan proyek-proyek interaktif [15]. Perangkat ini terdiri dari *board* mikrokontroler yang dapat diprogram menggunakan bahasa pemrograman Arduino yang mirip dengan C/C++.

2.3. Sensor KY-038

Sensor KY-038 adalah sebuah sensor suara yang digunakan untuk mendeteksi tingkat atau

intensitas suara [16]. Sensor ini biasanya digunakan dengan Arduino dan memiliki dua output, yaitu output analog dan output digital.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Buton Tengah, tepatnya di Desa Watorumbe, Kecamatan Mawasangka Tengah, Sulawesi Tenggara, di mana merupakan daerah yang masih sering terjadi aktivitas pembalakan liar. Perangkaian alat menggunakan perangkat berbasis Arduino yang dihubungkan melalui kabel *jumper* dengan sensor suara KY-038 untuk mendeteksi suara di lingkungan hutan. Sistem ini kemudian dihubungkan ke laptop yang menggunakan *plugin Data Streamer* pada *Microsoft Excel* untuk menangkap dan memproses data suara secara *real-time*, untuk selanjutnya diklasifikasikan dengan KNN.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen, di mana dilakukan serangkaian percobaan untuk menguji keefektifan sistem dalam mengklasifikasikan suara mesin *chainsaw*, motor RX-King, dan perahu ketinting. Teknik pengumpulan data dilakukan dengan cara merekam suara dari ketiga jenis mesin tersebut di lingkungan asli mereka. Pengambilan sampel suara dilakukan sebanyak 14 kali untuk setiap jenis mesin, sehingga setiap kelas memiliki ukuran fitur vektor sebesar 14x8. Dataset yang diperoleh berupa rekaman audio yang diubah menjadi fitur vektor dengan panjang 8 menggunakan teknik pemrosesan sinyal.

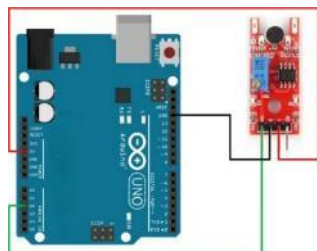
Eksperimen dilakukan dengan dua tahap utama, yaitu pengumpulan data latih dan pengujian data. Pada tahap pengumpulan data, suara mesin direkam dan diolah untuk menjadi dataset latih. Pada tahap pengujian, sistem diuji dengan menggunakan 4 data sampel untuk setiap jenis mesin, menghasilkan total 12 baris data dengan panjang vektor 8. Klasifikasi dilakukan menggunakan algoritma KNN dengan nilai k yang bervariasi untuk menentukan nilai k optimal. Adapun tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Metode Penelitian

3.1. Perancangan Prototipe Alat

Tahap paling awal dalam pembangunan sistem ini adalah menentukan komponen-komponen yang diperlukan, termasuk Arduino beserta settingan kodenya [17], kabel jumper, sensor suara KY-038 [8], dan laptop. Selanjutnya, dibuat skema perangkaian yang menghubungkan sensor suara dengan Arduino, dan Arduino dengan laptop. Pada tahap ini juga dipastikan bahwa pengaturan kabel dan konektivitasnya sesuai.



Gambar 2. Desain Alat

3.2. Pengumpulan Data Suara

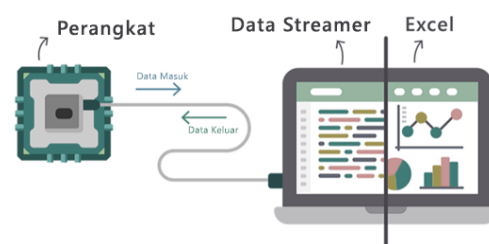
Pengambilan data suara dilakukan dengan merekam suara mesin gergaji *chainsaw*, mesin motor RX King, dan mesin perahu ketinting secara langsung ataupun menggunakan *audio* yang sudah pernah disimpan sebelumnya pada perangkat *handphone*. Setiap jenis suara direkam beberapa kali untuk memastikan variasi dan konsistensi data. Suara-suara ini ditangkap oleh sensor KY-038 untuk kemudian dikonversi menjadi nilai analog, dikirimkan ke Arduino dan diteruskan ke laptop/komputer. Tabel 1 merupakan rincian dari tahapan pengumpulan data suara dalam penelitian ini.

Tabel 1 Rincian data suara yang direkam

Suara yang direkam	Mesin <i>Chainsaw</i> , Mesin Motor RX King, Mesin Perahu Ketinting
Format Suara	WAV
Frekuensi (Hz)	20 Hz - 20 kHz
Periode (detik)	5 detik
Alat Perekam	Sensor KY-038, Arduino Uno, <i>Smartphone android</i> dan laptop

3.3. Pengolahan Data dan Ekstraksi Fitur

Sensor KY-038 menghasilkan keluaran berupa tegangan analog yang mencerminkan intensitas suara yang diterima oleh mikrofon, dan Arduino kemudian mengubah tegangan ini menjadi nilai digital dalam bentuk angka (nilai ADC) yang berkisar antara 0 hingga 1023 (untuk ADC 10-bit). Data suara (nilai ADC) yang diterima oleh laptop kemudian diolah menggunakan *plugin Data Streamer* di Microsoft Excel. *Plugin* ini memungkinkan pengunduhan data suara secara *real-time* dan mengubahnya menjadi fitur vektor data. Data yang diperoleh di Microsoft Excel disimpan dalam format yang dapat diolah lebih lanjut untuk analisis. Pada penelitian ini, dibatasi bahwa ukuran fitur vektor adalah sebesar 8 untuk tiap data suara yang diambil untuk menghindari *high dimensionality* dalam proses klasifikasi nantinya. Gambar 3 menunjukkan ilustrasi proses pengolahan data suara dari perangkat arduino ke ms.excel yang ada di komputer.



Gambar 3. Add-in data streamer di Ms.Excel yang menerima data sensor suara

3.4. Klasifikasi Suara dengan Metode KNN

Fitur vektor data yang telah diekstraksi kemudian diklasifikasikan menggunakan metode K-Nearest Neighbors (KNN)[18], [19]. Latih model KNN dengan vektor fitur ini. Setiap vektor fitur adalah array dari 40 nilai ADC yang mewakili satu instance dari suara

yang direkam. KNN dipilih karena kesederhanaan dan keefektifannya dalam menangani masalah klasifikasi dengan banyak variabel[9]. Proses klasifikasi melibatkan pengukuran jarak antara vektor fitur suara baru dengan vektor fitur yang sudah ada dalam dataset. Suara baru kemudian dikategorikan berdasarkan mayoritas suara dari K tetangga terdekat. Berikut ini algoritma KNN yang digunakan dalam penelitian ini:

3.4.1. Inisialisasi

- Tetapkan nilai K sebagai jumlah tetangga terdekat yang akan digunakan untuk klasifikasi. Misalnya, $K=5$ untuk mendapatkan 5 tetangga terdekat.
- Persiapkan dataset pelatihan yang terdiri dari fitur-fitur suara dari mesin *chainsaw*, motor *RX King*, dan mesin perahu ketinting, dengan label kelas yang sesuai.

3.4.2. Penghitungan Jarak

Pada tahap ini dilakukan perhitungan jarak antara setiap sampel suara yang akan diklasifikasikan (sampel uji) dengan setiap sampel suara dalam dataset pelatihan menggunakan metrik jarak seperti Euclidean, Manhattan, atau Minkowski. Pada penelitian ini, digunakan jarak euclidean.

3.4.3. Pemilihan Tetangga

Tahap ini dilakukan dengan memilih K sampel suara dengan jarak terdekat dari sampel uji sebagai tetangga terdekat.

3.4.4. Voting

- Hitung jumlah tetangga yang termasuk dalam setiap kelas, yaitu mesin *chainsaw*, motor *RX King*, atau mesin perahu ketinting.
- Berdasarkan mayoritas kelas dari K tetangga terdekat, klasifikasikan sampel uji ke kelas tersebut.

3.4.5. Output

Pada tahap terakhir, hasil berupa label kelas yang diperoleh dari tahap *voting* sebagai hasil klasifikasi untuk sampel suara tersebut ditunjukkan sebagai *output*.

3.5. Klasifikasi Suara dengan Metode KNN

Pada uji fungsionalitas, dilakukan pengujian rangkaian alat secara keseluruhan untuk memastikan bahwa sensor suara dapat mendeteksi suara dengan baik, data dapat dikirim dengan benar dari Arduino ke laptop, dan laptop dapat mengolah data dengan tepat.

Selain itu, model klasifikasi juga diuji dengan menggunakan data suara audio yang telah dikumpulkan untuk memastikan bahwa sistem dapat membedakan dengan akurat antara suara gergaji *chainsaw*, motor *RX King*, dan mesin perahu ketinting. Tingkat akurasi sistem diukur dengan membandingkan hasil klasifikasi dengan label asli suara. Untuk menghitung akurasi[20] dari klasifikasi suara mesin menggunakan metode KNN dalam penelitian ini, maka digunakan Confusion Matrix. Confusion matrix adalah tabel yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja algoritma klasifikasi. Akurasi diperoleh dari hasil klasifikasi data yang benar seperti pada Tabel 2. Akurasi mengukur proporsi prediksi yang benar di antara total prediksi yang dibuat yang dapat dilihat pada Persamaan (1)[20].

Tabel 2. Rumus dasar untuk Confusion Matrix

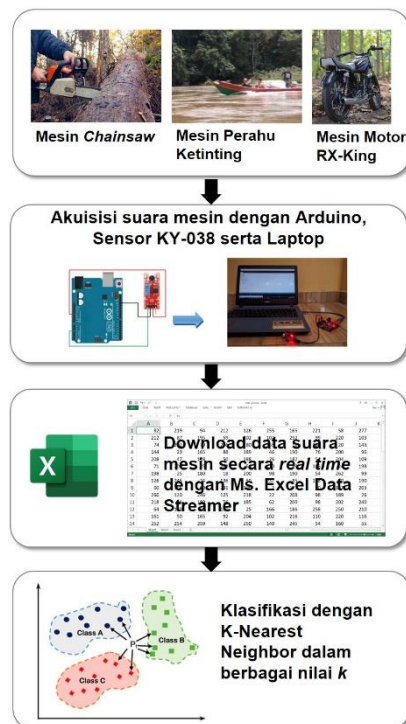
	Predicted Positive	Predicted Negative
Actual Positive	True Postive (TP)	False Negative (FN)
Actual Negative	False Postive (FP)	True Negative (TN)

$$Akurasi = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN} \quad (1)$$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

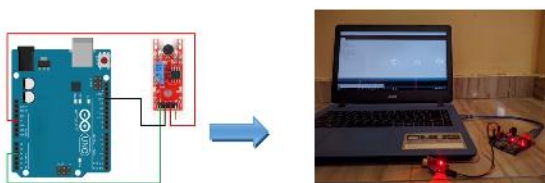
4.1. Hasil Perangkaian Alat

Proses implementasi dimulai dengan menyiapkan komponen perangkat keras seperti Arduino Uno, laptop, sensor suara KY-038, dan kabel jumper. Selanjutnya, perangkat lunak yang diperlukan adalah aplikasi Microsoft Excel dan bahasa pemrograman C++. Hasil akhir dari tahap ini adalah sistem deteksi suara yang mampu membedakan antara suara mesin gergaji (*chainsaw*) dengan mesin motor dan mesin perahu menggunakan sensor suara KY-038 dan metode KNN. Gambar 4 merupakan arsitektur sistem pengenalan suara mesin di area pembalakan liar.



Gambar 4. Hasil arsitektur sistem pengenalan suara mesin di area pembalakan liar

Dalam tahap implementasi ini, seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak diterapkan sesuai dengan desain yang telah dirancang sebelumnya. Gambar 5 adalah tampilan perangkat untuk sistem klasifikasi suara mesin gergaji menggunakan sensor suara KY-038 dan metode KNN.



Gambar 5. Hasil perangkaian sistem deteksi suara *chainsaw*

Berikut ini adalah penjelasan dari komponen-komponen utama yang menyusun sistem yang telah dibangun beserta cara kerjanya:

4.1.1. Arduino Uno

Arduino Uno berfungsi sebagai inti dari sistem, mengendalikan dan memproses semua input dari sensor. Pada Arduino Uno, pin 5V digunakan untuk menyediakan tegangan 5V yang dibutuhkan oleh sensor suara KY-038 agar dapat beroperasi. Pin GND (ground) berfungsi

untuk menghubungkan rangkaian ke ground, menyediakan referensi nol volt yang penting bagi komponen-komponen yang terhubung agar dapat berfungsi dengan baik. Pin A2 (Analog Pin 2) digunakan untuk membaca sinyal analog yang dihasilkan oleh sensor suara KY-038. Sinyal suara yang ditangkap oleh sensor ini akan dikonversi menjadi sinyal listrik analog yang kemudian dibaca oleh pin A2 untuk diproses oleh Arduino. Gambar 6 menunjukkan potongan kode untuk membaca nilai analog dari sensor yang terhubung ke pin A2, menyesuaikan nilai tersebut, dan mengirimkannya melalui serial ke komputer.

4.1.2. Sensor Suara KY-038

Sensor suara KY-038 adalah perangkat yang mendeteksi suara di lingkungan sekitar dan mengubahnya menjadi sinyal listrik. Komponen utama dari sensor ini adalah mikrofon kondensor, yang bertugas menangkap gelombang suara dan mengubahnya menjadi sinyal listrik. Sensor ini juga dilengkapi dengan potensiometer yang memungkinkan penyesuaian sensitivitas deteksi suara. Output analog dari sensor ini menghasilkan sinyal yang proporsional dengan intensitas suara yang terdeteksi, yang kemudian dikirim ke pin analog pada Arduino untuk pemrosesan lebih lanjut.

4.1.3. Kabel Jumper

Kabel jumper digunakan untuk membuat koneksi listrik antara komponen-komponen dalam sistem tanpa perlu melakukan penyolderan. Kabel jumper menghubungkan pin 5V pada Arduino ke pin VCC pada sensor suara KY-038 untuk memberikan tegangan yang dibutuhkan sensor. Kabel jumper lainnya menghubungkan pin GND pada Arduino ke pin GND pada sensor untuk melengkapi rangkaian listrik. Terakhir, kabel jumper menghubungkan pin A2 pada Arduino ke output analog (AO) pada sensor suara KY-038, memungkinkan Arduino membaca sinyal suara yang ditangkap oleh sensor.

4.1.4. Plugin Data Streamer

Plugin Data Streamer di Microsoft Excel adalah alat yang memungkinkan pengguna untuk menghubungkan data langsung dari perangkat eksternal, seperti Arduino, ke Excel secara *real-time*. *Plugin* ini mempermudah proses pengambilan dan visualisasi data yang dihasilkan oleh sensor. Pada penelitian ini, *plugin Data Streamer* digunakan untuk

mengunduh data suara yang diambil oleh sensor suara KY-038 secara *real-time* ke dalam Excel dengan menggunakan kode yang ada pada Gambar 6. Data ini kemudian dapat diolah dan dianalisis lebih lanjut untuk klasifikasi suara menggunakan metode KNN. Gambar 7 menunjukkan contoh data suara mesin *chainsaw* yang telah diunduh oleh *data streamer* microsoft excel berupa angka digital hasil konversi sinyal analog.

```
int Sensor;
int nilai = 0;
void setup() {
  Serial.begin(9600); // Inisialisasi
  komunikasi serial dengan kecepatan 9600
  bps
}
void loop() {
  Sensor = analogRead(A2); // Membaca
  nilai analog dari pin A2
  Sensor -= 350; // Mengurangi nilai yang
  dibaca dengan 350 untuk kalibrasi
  Serial.print(Sensor); // Mengirimkan
  nilai sensor melalui serial
  Serial.print(" "); // Mengirimkan spasi
  setelah nilai sensor
  nilai++; // Menambah nilai counter

  delay(50); // Menunda eksekusi selama 50
  milidetik

  if (nilai >= 40) { // Jika counter
  mencapai 40
    Serial.println(""); // Mengirimkan
    baris baru
    nilai = 0; // Reset counter
  }
}
```

Gambar 6. Potongan kode C++ untuk membaca nilai analog dari sensor

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	82	219	94	212	126	255	165	221	58	277	37	154	36	192
2	212	87	195	59	202	102	252	99	220	103	215	105	212	102
3	94	202	79	206	80	155	12	186	20	143	32	182	60	192
4	144	20	165	88	189	46	190	76	200	96	202	101	212	112
5	208	47	178	50	188	76	182	54	204	109	244	73	124	220
6	71	200	75	202	50	170	56	188	24	198	42	98	190	44
7	196	25	180	18	200	98	190	54	262	99	196	98	202	181
8	126	245	24	136	50	237	85	198	80	190	64	200	120	208
9	60	166	60	231	106	2	177	60	167	203	100	212	108	246
10	260	120	246	125	218	22	208	98	189	26	180	17	199	73
11	218	94	180	56	185	62	200	98	202	240	245	104	200	64
12	64	170	68	180	25	166	186	258	250	210	63	164	50	163
13	181	50	185	92	204	102	216	110	220	116	130	160	198	98
14	252	254	259	148	250	140	245	54	180	55	165	60	178	45

Gambar 7. Contoh data suara mesin *chainsaw* yang diunduh secara *real-time*

4.2. Hasil Pengujian Performa Klasifikasi

Pengujian ini dilaksanakan di Buton Tengah, tepatnya di Desa Watorumbe, Kecamatan Mawasangka Tengah, Sulawesi Tenggara, di mana merupakan daerah yang masih sering terjadi aktivitas pembalakan liar. Tahap awal pengujian melibatkan pengambilan sampel suara dari mesin *chainsaw*, mesin ketinting, dan kendaraan bermotor di lokasi penelitian. Fokus dari pengujian ini adalah menguraikan hasil

yang diharapkan serta mengevaluasi performa dari perangkat yang telah dibangun, termasuk sistem klasifikasinya. Perangkat yang telah dirancang beroperasi secara efektif sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan. Dalam pengujian, setiap komponen berhasil berfungsi dengan baik sesuai spesifikasi yang diharapkan, menunjukkan bahwa perancangan alat telah mencapai standar yang diinginkan untuk pemantauan aktivitas ilegal seperti pembalakan liar.

Pengujian ini juga berfokus pada perhitungan performa sistem deteksi suara mesin gergaji menggunakan metode KNN. Pada tahap pengumpulan data *training*, suara dari setiap jenis mesin diambil sebanyak 10 kali, dengan panjang fitur tiap datanya adalah 8. Dengan demikian, untuk setiap kelas (mesin gergaji, mesin perahu ketinting dan mesin motor), ukuran fitur vektor adalah 10x8. Gambar 8 menunjukkan *data training* dengan ukuran matriks 30x8 yang terbagi secara rata ke dalam 3 kelas suara mesin. Selanjutnya, dilakukan pengujian secara *real-time* di mana masing-masing kelas diuji dengan menggunakan 4 data, sehingga diperoleh total 12 baris data dengan panjang vektor 8. Tabel 3 menunjukkan data uji yang digunakan dalam penelitian ini. Klasifikasi dan deteksi suara mesin *chainsaw* serta mesin lainnya menggunakan metode KNN kemudian dilakukan. Pada penelitian ini, digunakan nilai *k* antara 3 sampai dengan 7.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	DATA TRAINING											
2												
3												
4												
5												
6	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8		SIMILAR	KATEGORI	
7	82	219	94	212	126	255	165	221		70162	Sensor	
8	212	87	195	59	202	102	252	99		46722	Sensor	
9	94	202	79	206	80	155	12	186		70384	Sensor	
10	144	20	165	88	189	46	190	76		41704	Sensor	
11	208	47	178	50	188	76	182	54		44657	Sensor	
12	71	200	75	202	50	170	56	188		57742	Sensor	
13	196	25	180	18	200	98	190	54		60339	Sensor	
14	6	108	8	129	25	126	0	179		84561	Sensor	
15	43	157	22	201	107	212	100	242		77772	Sensor	
16	3	198	55	160	52	232	122	226		70458	Sensor	
17	78	100	140	190	209	90	139	156		36918	Katinting	
18	103	142	163	201	153	213	106	126		34467	Katinting	
19	105	151	160	224	170	244	122	167		50971	Katinting	
20	47	130	146	204	57	100	120	200		23964	Katinting	
21	100	133	140	204	103	136	196	223		32257	Katinting	
22	91	121	156	200	224	94	121	163		45330	Katinting	
23	97	130	170	201	62	109	120	150		17169	Katinting	
24	114	133	147	149	204	50	137	148		40685	Katinting	
25	114	136	158	193	3	60	144	164		23198	Katinting	
26	132	134	154	200	98	189	244	60		9721	Katinting	
27	152	135	162	147	190	153	129	167		40187	R-ling	
28	140	120	164	122	158	112	135	132		39709	R-ling	
29	162	142	100	144	133	158	155	108		19578	R-ling	
30	173	205	187	200	150	140	150	145		27880	R-ling	
31	170	168	136	133	170	178	183	203		47543	R-ling	
32	171	149	161	121	170	140	152	143		31273	R-ling	
33	188	166	172	156	126	126	145	139		20886	R-ling	
34	185	174	180	162	176	140	170	154		31753	R-ling	
35	140	176	145	162	150	114	124	155		23566	R-ling	
36	143	148	165	150	108	141	132	154		23535	R-ling	
37												

Gambar 8. Contoh data *training* suara yang terbagi atas 3 kelas

Tabel 3. Data *testing* suara mesin yang terbagi atas 3 kelas

Suara mesin gergaji (<i>chainsaw</i>)	Test1	85	219	94	212	126	255	165	200
	Test2	144	20	165	88	189	46	190	76
	Test3	152	50	160	46	165	50	163	62
	Test4	161	50	165	92	204	102	216	110
Suara mesin perahu ketinting	Test1	74	108	152	201	63	112	202	52
	Test2	144	133	147	148	204	50	137	148
	Test3	91	121	156	200	224	94	121	163
	Test4	50	111	147	278	190	200	90	212
Suara mesin motor RX King	Test1	140	120	140	75	130	70	140	90
	Test2	192	160	194	150	179	140	132	82
	Test3	100	148	102	84	130	167	200	153
	Test4	164	125	156	166	105	125	140	169

Untuk mengukur performa klasifikasi, digunakan nilai akurasi. Tabel 4 hingga Tabel 8 menunjukkan hasil dari pengujian ini sekaligus menguji pengaruh nilai k terhadap akurasi klasifikasi. Nilai k pada KNN yang diuji adalah $k=3,4,5,6$ dan 7 . Hasil pengujian klasifikasi suara mesin menggunakan metode K-Nearest Neighbors (KNN) dengan berbagai nilai k menunjukkan variasi dalam akurasi klasifikasi. Pada Tabel 4 dan 5 dengan nilai $k=3$ dan $k=4$, akurasi yang diperoleh adalah 91.67%, di mana suara mesin *chainsaw* dan ketinting berhasil diklasifikasikan dengan benar, tetapi terdapat satu kesalahan pada klasifikasi suara mesin motor. Ketika nilai k dinaikkan menjadi 5 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6, akurasi mencapai 100%, yang menunjukkan bahwa semua suara mesin diklasifikasikan dengan benar tanpa kesalahan. Namun, pada nilai $k=6$ dan $k=7$ seperti yang ditunjukkan pada Tabel 7 dan 8, akurasi menurun menjadi 83.33% karena adanya kesalahan dalam klasifikasi suara mesin ketinting yang dikategorikan sebagai mesin motor. Penurunan akurasi ini menunjukkan bahwa pemilihan nilai k yang terlalu besar dapat mengurangi keakuratan klasifikasi karena sistem menjadi terlalu sensitif terhadap data tetangga yang tidak relevan.

Tabel 4. *Confusion Matrix* untuk Klasifikasi Suara Mesin dengan KNN pada nilai $k=3$

	Predicted: Chainsaw	Predicted: Ketinting	Predicted: Motor
Actual: Chainsaw	4	0	0
Actual: Ketinting	0	4	0
Actual: Motor	1	0	3

Tabel 5. *Confusion Matrix* untuk Klasifikasi Suara Mesin dengan KNN pada nilai $k=4$

	Predicted: Chainsaw	Predicted: Ketinting	Predicted: Motor
Actual: Chainsaw	4	0	0
Actual: Ketinting	0	4	0
Actual: Motor	1	0	3

	Predicted: Chainsaw	Predicted: Ketinting	Predicted: Motor
Actual: Chainsaw	4	0	0
Actual: Ketinting	0	4	0
Actual: Motor	0	1	3

Tabel 6. *Confusion Matrix* untuk Klasifikasi Suara Mesin dengan KNN pada nilai $k=5$

	Predicted: Chainsaw	Predicted: Ketinting	Predicted: Motor
Actual: Chainsaw	4	0	0
Actual: Ketinting	0	4	0
Actual: Motor	0	0	4

Tabel 7. *Confusion Matrix* untuk Klasifikasi Suara Mesin dengan KNN pada nilai $k=6$

	Predicted: Chainsaw	Predicted: Ketinting	Predicted: Motor
Actual: Chainsaw	4	0	0
Actual: Ketinting	0	2	2
Actual: Motor	0	0	4

Tabel 8. *Confusion Matrix* untuk Klasifikasi Suara Mesin dengan KNN pada nilai $k=7$

	Predicted: Chainsaw	Predicted: Ketinting	Predicted: Motor
Actual: Chainsaw	4	0	0
Actual: Ketinting	0	2	2
Actual: Motor	0	0	4

Tabel 9 menunjukkan akurasi dari tiap-tiap nilai k . Secara keseluruhan, nilai $k=5$ memberikan hasil terbaik dalam eksperimen ini, menekankan pentingnya pemilihan parameter yang tepat dalam penggunaan algoritma KNN untuk mencapai performa optimal dalam klasifikasi suara mesin di area pembalakan liar.

Tabel 9. Akurasi Klasifikasi dengan berbagai nilai k

Nilai k	Σ True Postive	Akurasi (%)
3	11	91.67
4	11	91.67
5	12	100

6	10	83.33
7	10	83.33
Rata-rata		90

Hasil pengujian menunjukkan bahwa pemanfaatan Arduino dan sensor KY-038 efektif dalam membedakan suara mesin *chainsaw* dari suara mesin lain seperti motor RX-King dan mesin perahu ketinting di area pembalakan liar. Dengan menggunakan metode K-Nearest Neighbors (KNN) sebagai algoritma klasifikasi dan nilai k yang bervariasi, hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai $k = 5$ memberikan akurasi tertinggi, yaitu 100% dengan nilai rata-rata sebesar 90%. Hal ini menegaskan bahwa pemilihan parameter k yang tepat sangat penting untuk mencapai performa optimal. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan memiliki potensi besar untuk diterapkan dalam upaya deteksi dini aktivitas pembalakan liar, dengan tingkat akurasi yang cukup baik dalam mengidentifikasi suara mesin *chainsaw*. Sistem ini dapat mendukung upaya konservasi dan penegakan hukum, memberikan alat yang efektif untuk memantau dan mencegah aktivitas pembalakan liar khususnya di daerah-daerah seperti Sulawesi Tenggara.

5. KESIMPULAN

- Perangkat deteksi suara mesin yang dikembangkan menggunakan Arduino Uno dan sensor suara KY-038 berhasil berfungsi sesuai spesifikasi yang diharapkan. Metode KNN dengan $k=5$ menunjukkan kinerja yang sangat baik dengan akurasi tertinggi 100% untuk mengklasifikasikan 12 data suara mesin yang terdiri atas mesin *chainsaw*, mesin perahu ketinting dan mesin motor RX-King. Akurasi terendah sebesar 83,33% diperoleh ketika menggunakan nilai $k=6$ dan 7. Dengan akurasi rata-rata secara keseluruhan adalah 90%.
- Sistem ini efektif sebagai alat deteksi dini aktivitas pembalakan liar, mampu membedakan suara mesin *chainsaw* dari suara mesin lainnya, dan memiliki potensi besar

untuk diterapkan di daerah rawan. Penelitian selanjutnya disarankan untuk meningkatkan jumlah sampel suara, membandingkan dengan metode klasifikasi lain, dan mempertimbangkan normalisasi data untuk hasil yang lebih konsisten.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Setiawan, I. N. S. Jaya, and N. Puspaningsih, "MODEL SPASIAL DEFORESTASI DI KABUPATEN KONAWE UTARA DAN KONAWE PROVINSI SULAWESI TENGGARA (Deforestation Spatial Model In North Konawe And Konawe Districts South East Sulawesi Province)," *Media Konservasi*, vol. 20, no. 2, pp. 166–176, 2015.
- [2] S. Sarimuddin, M. Muchtar, Y. P. Pasrun, L. A. F. Hasidu, and R. Riska, "Penentuan Tingkat Kesehatan Komunitas Mangrove Secara Otomatis Menggunakan Otsu Thresholding," *Jurnal Informatika dan Rekayasa Perangkat Lunak*, vol. 6, no. 1, pp. 30–39, 2024.
- [3] S. Marwah, "Potential of karbon stock in Tanjung Peropa Wildlife Reserve Forests in the implementation of INDC and initiatives of local mitigation," *Ecogreen*, vol. 2, no. 2, pp. 115–122, 2016.
- [4] E. Olteanu, V. Suci, S. Segarceanu, I. Petre, and A. Scheianu, "Forest Monitoring System Through Sound Recognition," *2018 12th International Conference on Communications, COMM 2018 - Proceedings*, pp. 75–80, 2018, doi: 10.1109/ICComm.2018.8430163.
- [5] A. Srisuphab, N. Kaakkurivaara, P. Silapachote, K. Tangkit, P. Meunpong, and T. Sunetnanta, "Illegal logging listeners using IoT networks," *IEEE Region 10 Annual International Conference, Proceedings/TENCON*, vol. 2020-Novem, pp. 1277–1282, 2020, doi: 10.1109/TENCON50793.2020.9293935.
- [6] A. Bansal and N. K. Garg, "Environmental Sound Classification using Hybrid Ensemble Model," *Procedia Comput Sci*, vol. 218, pp. 418–428, 2022, doi: 10.1016/j.procs.2023.01.024.
- [7] E. Tsalera, A. Papadakis, and M. Samarakou, "Monitoring, profiling and classification of urban environmental noise using sound characteristics and the KNN algorithm,"

- Energy Reports*, vol. 6, no. June, pp. 223–230, 2020, doi: 10.1016/j.egyr.2020.08.045.
- [8] M. P. Lukman, . J., and Y. F. Y. Rieuwpassa, “Sistem Lampu Otomatis Dengan Sensor Gerak, Sensor Suhu Dan Sensor Suara Berbasis Mikrokontroler,” *Jurnal RESISTOR (Rekayasa Sistem Komputer)*, vol. 1, no. 2, pp. 100–108, 2018, doi: 10.31598/jurnalresistor.v1i2.305.
- [9] N. A. J. Gnamele, Y. B. Ouattara, T. A. Kobea, G. Baudoin, and J. M. Laheurte, “KNN and SVM classification for chainsaw sound identification in the forest areas,” *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 10, no. 12, pp. 531–536, 2019, doi: 10.14569/ijacsa.2019.0101270.
- [10] L. Czúni and P. Z. Varga, “Time Domain Audio Features for Chainsaw Noise Detection Using WSNs,” *IEEE Sens J*, vol. 17, no. 9, pp. 2917–2924, 2017, doi: 10.1109/JSEN.2017.2670232.
- [11] D. C. Prasetyo, G. A. Mutiara, and R. Handayani, “Chainsaw Sound and Vibration Detector System for Illegal Logging,” *Proceedings - 2018 International Conference on Control, Electronics, Renewable Energy and Communications, ICCEREC 2018*, no. December 2018, pp. 93–98, 2018, doi: 10.1109/ICCEREC.2018.8712091.
- [12] R. F. Fadhillah and R. Sumiharto, “Klasifikasi Suara Untuk Memonitori Hutan Berbasis Convolutional Neural Network,” *IJEIS (Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems)*, vol. 13, no. 1, 2023, doi: 10.22146/ijeis.79536.
- [13] T. M. Aide, C. Corrada-Bravo, M. Campos-Cerqueira, C. Milan, G. Vega, and R. Alvarez, “Real-time bioacoustics monitoring and automated species identification,” *PeerJ*, vol. 2013, no. 1, pp. 1–19, 2013, doi: 10.7717/peerj.103.
- [14] P. Hukum, L. Hidup, D. Kehutanan Kementerian, and D. Kehutanan, “DIREKTORAT JENDERAL.”
- [15] Sarimuddin, *Cara Mudah Kuasai Mikrokontroler Arduino Teori Dan Praktek*, vol. 1, no. 1. Purbalingga: EUREKA MEDIA AKSARA, 2023.
- [16] M. P. Lukman, . J., and Y. F. Y. Rieuwpassa, “Sistem Lampu Otomatis Dengan Sensor Gerak, Sensor Suhu Dan Sensor Suara Berbasis Mikrokontroler,” *Jurnal RESISTOR (Rekayasa Sistem Komputer)*, vol. 1, no. 2, pp. 100–108, 2018, doi: 10.31598/jurnalresistor.v1i2.305.
- [17] Sarimuddin, *Cara Mudah Kuasai Mikrokontroler Arduino Teori Dan Praktek*, vol. 1, no. 1. Purbalingga: EUREKA MEDIA AKSARA, 2023.
- [18] Hasmawati, M. Muchtar, and J. Nangi, “APLIKASI PREDIKSI PENJUALAN BARANG MENGGUNAKAN METODE K-NEAREST NEIGHBOR (KNN) (STUDI KASUS TUMAKA MART),” *semanTIK*, vol. 3, no. 2, pp. 151–160, 2017.
- [19] M. Muchtar and R. A. Muchtar, “Perbandingan Metode KNN dan SVM Dalam Klasifikasi Kematangan Buah Mangga Berdasarkan Citra HSV dan Fitur Statistik,” *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 12, no. 2, pp. 876–884, 2024.
- [20] M. Muchtar and R. A. Muchtar, “Integrasi fitur warna, tekstur dan renyi fraktal untuk klasifikasi penyakit daun kentang menggunakan linear discriminant analysis,” *Jurnal MNEMONIC*, vol. 7, no. 1, pp. 77–84, 2024.