



Jurnal Elektronika, Listrik, Telekomunikasi, Komputer, Informatika, Sistem Kontrol

Vol. 4 | No. 2 | Halaman: 45 - 92 | Surabaya, November 2022

Perbandingan Akurasi dan Presisi dari Hasil Alat Ukur Suhu menggunakan Metode Differensial terhadap Alat Ukur Konvensional

Agung Gunawan, Bisma Baghas Waluyo, Dimas Satrio Wiranata1, Fauzi Arif Dwi Nugroho, Haikal Pratama, Joey Oktanata, Putri Maimunah, Senia Rombe Pambuntang

Implementasi Jaringan Syaraf Tiruan untuk Deteksi dan Pemetaan Obyek dengan Metode Backpropagation

Putri Ananda Rhamadani, Yeyen Yulastri, Nadziah Fitriani, Salman Al Farisyi, Nur Ainun, Amelia Manda Sari

Implementasi Early Warning System Bencana Banjir berdasarkan Ketinggian Air Bendungan

Hadi Suyanto, Andi Kusuma, Bagus Kusuma Aditya, Tri Agung Kristiyono, Eviana Hariandika, Aditya Maulana Ichsan

Sistem Akuisisi Gas Karbon Dioksida dan Potensinya sebagai Alat Ukur Emisi pada Tanah Gambut

Mulyadi, Buyung Romadona

Diagnosa Kerusakan Rolling Bearing Motor Induksi menggunakan Sinyal Suara

Novan D. Ramadhan, Adistra Shanda Syahputri, Pandu Aрафi Putra Subagya

Deteksi Kerusakan Bearing secara Non-Invasive pada Kondisi Kecepatan Bervariasi

Fajar Agung Priambodo, Pandu Arafai Putra Subagya, Adistra Shanda Syahputri

Prodi Teknik Elektro
Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan
Universitas Hang Tuah

J-Eltrik
**Jurnal Elektronika, Listrik, Telekomunikasi, Komputer,
Informatika, Sistem Kontrol**

Editor in Chief

Dr. Muh. Taufiqurrohman, S.T., M.T.
(Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan, Univ. Hang Tuah)

Managing Editor

Ir. Belly Yan Dewantara, S.T., M.T.
(Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan, Univ. Hang Tuah)

Editorial in Board

Safriudin Rifandi, S.T., M.Tr.T.
(Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan, Univ. Hang Tuah)
Sinung Widiyanto, S.T., M.Eng.
(Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan, Univ. Hang Tuah)

Reviewer

Associate Professor Dr. Wahyu Mulyo Utomo
(Universiti Tun Onn Malaysia)
Dr. Hindarto, S. Kom., M.T.
(Prodi Teknik Elektro, Fak. Teknik, Univ. Muhammadiyah, Sidoarjo)
Ir. Agus Putu Abiyasa, B. Eng., Ph.D., IPM.
(Prodi Teknik Elektro, Fak. Teknik dan Informatika, Univ. Pendidikan Nasional, Bali)
I Wayan Sukadana, S.T., M.T.
(Prodi Teknik Elektro, Fak. Teknik dan Informatika, Univ. Pendidikan Nasional, Bali)
Dr. Iradiratu Diah P.K, S.T., M.T
(Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan, Univ. Hang Tuah)
Dr. Suryadhi, S.T., M.T.
(Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan, Univ. Hang Tuah)
Dr. Istiyo Winarno, S.T., M.T.
(Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan, Univ. Hang Tuah)
Joko Subur, S.T., M.T.
(Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan, Univ. Hang Tuah)
Pooja Kenchetty, Ph.D.
(CMR Institute of Technology, India)
Dr. Om Prakash Sahu, Ph.D.
(Vellore Institute of Technology, India)

Alamat Redaksi:

Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan
Pulau Miangas, Universitas Hang Tuah
Jl. Arif Rahman Hakim, No. 150, Surabaya
e-mail: jurnal.eltrik@hangtuah.ac.id
ojs: eltrik.hangtuah.ac.id

J-Eltrik
**Jurnal Elektronika, Listrik, Telekomunikasi, Komputer,
Informatika, Sistem Kontrol**

E-ISSN: 2656-9388; P-ISSN: 2656-9396

Vol. 4, No. 2, November 2022
DOI: <https://doi.org/10.30649/je.v4i2>

Daftar Isi

Perbandingan Akurasi dan Presisi dari Hasil Alat Ukur Suhu menggunakan Metode Differensial terhadap Alat Ukur Konvensional	45-49
Agung Gunawan, Bisma Baghas Waluyo, Dimas Satrio Wiranata ¹ , Fauzi Arif Dwi Nugroho, Haikal Pratama, Joey Oktanata, Putri Maimunah, Senia Rombe Pembuntang	
Implementasi Jaringan Syaraf Tiruan untuk Deteksi dan Pemetaan Objek dengan Metode Backpropagation	50-56
Putri Ananda Rhamadani, Yeyen Yulastri, Nadziah Fitriani, Salman Al Farisyi, Nur Ainun, Amelia Manda Sari	
Implementasi Early Warning System Bencana Banjir berdasarkan Ketinggian Air Bendungan	57-66
Hadi Suyanto, Andi Kusuma, Bagus Kusuma Aditya, Tri Agung Kristiyono, Eviana Hariandika, Aditya Maulana Ichsan	
Sistem Akuisisi Gas Karbon Dioksida dan Potensinya sebagai Alat Ukur Emisi pada Tanah Gambut	67-73
Mulyadi, Buyung Romadona	
Diagnosa Kerusakan Rolling Bearing Motor Induksi menggunakan Sinyal Suara	74-82
Novan D. Ramadhan, Adistra Shanda Syahputri, Pandu Arafai Putra Subagya	
Deteksi Kerusakan Bearing secara Non-Invasive pada Kondisi Kecepatan Bervariasi	83-92
Fajar Agung Priambodo, Pandu Arafai Putra Subagya, Adistra Shanda Syahputri	

Perbandingan Akurasi dan Presisi dari Hasil Alat Ukur Suhu Menggunakan Metode Differensial terhadap Alat Ukur Konvensional

**Agung Gunawan¹, Bisma Baghas Waluyo¹, Dimas Satrio Wiranata¹,
Fauzi Arif Dwi Nugroho¹, Haikal Pratama¹, Joey Oktanata¹, Putri Maimunah¹,
Senia Rombe Pembuntang¹**

¹Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Komputer, Universitas Borneo Tarakan
Jalan Amal Lama No. 1 Kota Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia
Korespondensi: haikal.mawan99@gmail.com

Received: Juli 2022; Accepted: September 2022; Published: November 2022

DOI: <https://doi.org/10.30649/je.v4i2.103>

Abstrak

Pada pengukuran menggunakan alat ukur suhu digital berbasis teknologi infrared merupakan bentuk penggunaan prinsip rangkaian differensial. Teknologi ini menggunakan konsep rangkaian differensial yang diintegrasikan dengan rangkaian elektronika lainnya. Permasalahan yang terjadi terjadi perbedaan akurasi dan presisi antara perangkat konvensional dengan perangkat digital, hal ini menjadi pertimbangan mengapa perlu digunakan alat ukur digital. Tujuan dari penelitian ini adalah mengkaji kelebihan dan kekurangan diantara masing masing alat dengan fungsi yang sama. Metode deferensial yang digunakan adalah analisa perbandingan data dengan menggunakan data-data *real time*. Dari hasil pecobaan dapat diambil kesimpulan selisih akurasi antara 0.05 °C sampai dengan 0.12 °C.

Kata kunci: *infrared, rangkaian, differensial, teknologi, suhu.*

Abstract

Measurements using a digital temperature measuring instrument based on infrared technology are a form of using the differential circuit principle. This technology uses a differential circuit concept integrated with other electronic circuits. The problem that occurs is the difference in accuracy and precision between conventional devices and digital devices, this is a consideration of why it is necessary to use digital measuring instruments. This research examines the advantages and disadvantages of each tool with the same function. The differential method used is comparative data analysis using real-time data. From the results of the experiment, it can be concluded that the difference in accuracy is between 0.05 °C to 0.12 °C.

Key words: *infrared, circuit, differential, technology, temperature*

I. PENDAHULUAN

Di era modern saat ini, penggunaan alat digital semakin meluas. Salah satu modernisasi pengembangan teknologi

digital adalah penggunaan konsep rangkaian penguat atau op-amp. Rangkaian penguat banyak diaplikasikan di berbagai aspek kehidupan, salah satu yang banyak diaplikasikan dari rangkaian penguat

adalah penguat differensial. Contoh pengaplikasian rangkaian penguat differensial adalah pada alat pengukuran suhu. Mulai dari pengukuran menggunakan teknologi sinar *infrared* hingga NTC atau *Negative Coefisien temperature*.

Suhu merupakan salah satu variabel penting dalam mengetahui perubahan keadaan suatu zat atau benda. Dengan mengetahui perubahan suhu maka dapat diketahui juga perubahan fisiknya [2]. Oleh karena itu sangat penting untuk memantau suhu pada suatu objek yang dituju. Salah satu cara memantau suhu adalah dengan menggunakan sensor *infrared* [3].

Dengan sensor ini dapat memantau suhu dengan mendekatkan sensor ke arah objek yang akan diukur suhunya. Sehingga dengan mengetahui hasil ukur suhu objeknya dapat mengambil kesimpulan apakah objek tersebut dalam keadaan suhu normal atau tidak normal. Kelebihan dari sensor ini sensitif terhadap perubahan suhu setiap detiknya.

Sensor pada dasarnya dapat digolongkan sebagai transduser input karena dapat mengubah energi fisik seperti cahaya, tekanan, gerakan, suhu atau energi fisik lainnya menjadi sinyal listrik ataupun resistansi (yang kemudian dikonversikan lagi ke tegangan atau sinyal listrik) [4].

Inframerah adalah radiasi elektromagnetik dari panjang gelombang lebih panjang dari cahaya tampak, tetapi lebih pendek dari radiasi gelombang radio. Radiasi Inframerah memiliki jangkauan tiga “order” dan memiliki panjang gelombang antara 700 nm dan 1 mm [5].

Berdasarkan gelombangnya maka Inframerah ini bisa diklasifikasikan sebagai berikut [6]:

- Inframerah jarak dekat dengan panjang gelombang 0.75 – 1.5 μm .
- Inframerah jarak menengah dengan panjang gelombang 1.50 – 10 μm .
- Inframerah jarak jauh dengan panjang gelombang 10-100 μm .

Metode diferensial yang diterapkan adalah, dimana sensor dibuat dalam bentuk simetris dan terhubung ke rangkaian pengkondisian sinyal simetris sehingga satu sinyal dikurangkan dari yang lain, adalah cara yang sangat ampuh untuk noise dan pengurangan drift [7]. Sebagai contoh pengkondisi sinyal dengan menggunakan metode diferensial adalah differential amplifier [8].

Tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan dua hasil di antara alat ukur suhu konvensional terhadap alat ukur suhu yang menggunakan prinsip kerja alat differensial apakah memiliki perbedaan pada keakuratan dan presisi di antara kedua konsep alat ukur tersebut.

II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah observasi dan analisa perbandingan data menggunakan data-data yang sudah dengan metode *literature review*. *Literature review* adalah uraian tentang teoris, temuan dan bahan penelitian lain yang diperoleh dari bahan acuan untuk dijadikan landasan kegiatan penelitian [9]. Adapun sifat dari penelitian ini adalah membandingkan hasil data observasi yang dihasilkan dengan tetap berpedoman pada jurnal yang sudah ada sebagai referensi.

Penelitian dilakukan dengan langkah-langkah seperti menentukan tujuan penelitian, memilih sumber referensi yang relevan, melakukan observasi serta perhitungan, melakukan seleksi dan evaluasi referensi, selanjutnya melakukan sintesis dan interpretasi informasi [10].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dilakukan hasil uji pengambilan sampel menggunakan 2 buah alat yaitu *Thermogun* dengan *Infrared* dan menggunakan Thermometer digital konvesional.

Dilakukan pengambilan data sebanyak 3 kali pada masing-masing alat dengan 12 sample objek pengujian yaitu remaja berumur 19-20 tahun. Objek meliputi 6 orang berjenis kelamin laki-laki dan 6 orang berjenis perempuan.

Adapun Speksifikasi dari alat ukur *Thermogun* yang kami gunakan yaitu, *Infrared Thermometer* dengan jarak pengukuran 3-5 cm. Tingkat akurasi menurut speksifikasi yaitu berskala 32°C - $34,9^{\circ}\text{C}$ $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$; 35°C - 42°C $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$; $42,1^{\circ}\text{C}$ - $42,9^{\circ}\text{C}$ $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$.



Gambar 1. Termometer Digital

Pada Gambar 1, Spesifikasi pada alat ukur thermometer digital dengan tingkat akurasi berskala $0,1^{\circ}\text{C}$. Setelah pengambilan sample dilakukan, didapatkanlah data sebagai berikut. Pengambilan subjek dengan jenis kelamin perempuan dengan suhu ruangan 26,3 derajat.

Tabel 1. Data Pengukuran Thermogun pada Perempuan

Subjek	P1	P2	P3
1	36,3	36,4	36,2
2	36,4	36,2	36,2
3	36,2	36,2	36,1
4	35,8	35,5	35,9
5	35,1	35,4	35,1
6	36	35,9	35,7

*P = Percobaan dengan satuan derajat *Celsius*

Tabel 2. Data Pengukuran Thermometer Digital pada Perempuan

Subjek	P1	P2	P3
1	36,1	35,9	35,8
2	35,8	35,8	35,6
3	36,6	35,6	36,2
4	36,3	36,2	36,4
5	35,5	35,2	34,8
6	32,2	34,7	33,1

*P = Percobaan dengan satuan derajat *Celsius*

Pengambilan subjek dengan jenis kelamin laki-laki dengan suhu ruangan 26,3 derajat.

Tabel 3. Data Pengukuran Thermogun Laki-laki

Subjek	P1	P2	P3
1	36,3	36,2	36,1
2	36,4	36,5	36,4
3	36,4	36,4	36,5
4	36,4	36,4	36,5
5	36,3	36,5	36,4
6	34,8	35	34,7

*P = Percobaan dengan satuan derajat *Celsius*

Tabel 4. Data Pengukuran Thermogun Laki-laki

Subjek	P1	P2	P3
1	37,5	37,6	37,6
2	36,1	36,2	36,2
3	36,5	36,7	36,6
4	35,9	36,2	36,2
5	36,4	36,3	36,7
6	36,1	36,4	36,5

*P = Percobaan dengan satuan derajat *Celsius*

Data diatas dipengaruhi oleh suhu lingkungan serta jenis kelamin dari subjek, sehingga hasil pengukuran dapat berbeda tergantung kondisi subjek dan suhu lingkungan pada saat pemgambilan data.

Berdasarkan data diatas dapat dihitung nilai toleransi pada setiap alat pengukuran. Nilai toleransi dapat dihitung sebagai berikut:

Tabel 5. Data Nilai Toleransi Pengujian

Subjek	Alat 1	Alat 2
Perempuan	0,15	0,31
Laki-laki	0,11	0,16

*Alat 1 : Thermogun

Alat 2 : Thermometer Digital

Hasil nilai toleransi dengan satuan derajat *Celsius*

Berikut adalah rumus perhitungan nilai toleransi:

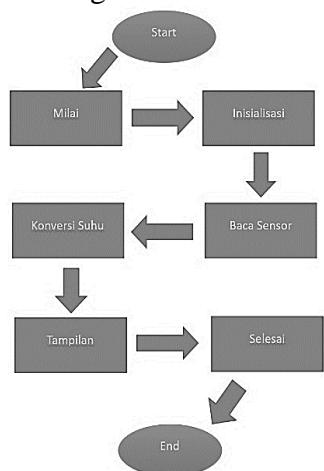
$$Tls = Suhu \ maks - Suhu \ median \quad (1)$$

$$Tlt = Rata - rata \ Tls \quad (2)$$

Keterangan:

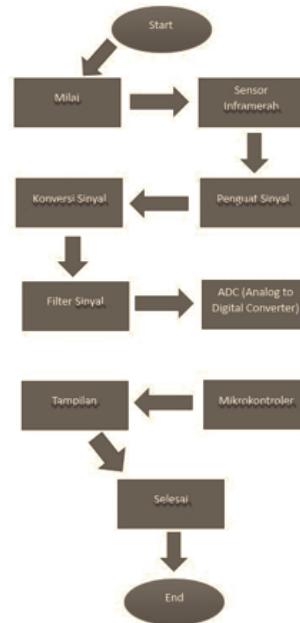
- Tls = Nilai Toleransi Subjek
- Tlt = Nilai Toleransi Total

Berikut adalah diagram alir dari rangkaian thermometer digital:



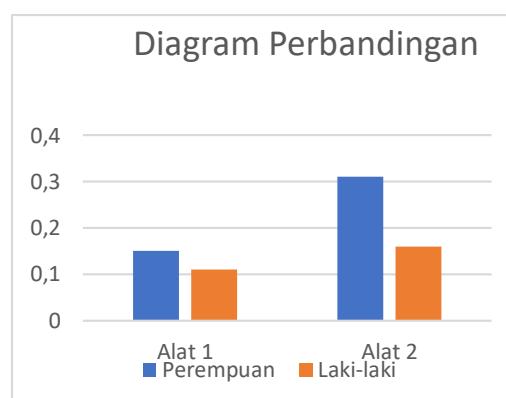
Gambar 2. Diagram Alir Rangkaian Thermometer Digital

Berikut adalah diagram alir dari rangkaian *Thermogun Infrared* :



Gambar 3. Diagram Alir Rangkaian *Thermogun Infrared*

Berikut adalah diagram balok perbandingan nilai toleransi diantara *thermogun infrared* dengan thermometer digital :



Gambar 4. Diagram Balok Perbandingan Nilai Toleransi

IV. SIMPULAN

Pengukuran menggunakan alat ukur suhu digital berbasis teknologi infrared adalah bentuk penggunaan prinsip rangkaian differensial. Metode penelitian yang digunakan adalah observasi dan analisa perbandingan data menggunakan data-data yang sudah ada. Adapun hasil penelitian

yang didapatkan menunjukkan bahwa penggunaan alat ukur suhu thermogun dengan rangkaian differensial lebih akurat dibandingkan dengan penggunaan alat ukur suhu konvensional yaitu thermometer digital. Indikator tingkat ke-akuratan dilihat dari nilai toleransi pada masing-masing alat ukur suhu, semakin kecil nilai toleransi maka semakin akurat pengukuran.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada 12 partisipan yang telah berkontribusi dalam pengambilan data suhu badan menggunakan thermogun dan thermometer. Dukungan dan kerjasama Anda sangat berarti bagi penelitian kami. Melalui partisipasi Anda, kami dapat membandingkan kedua alat tersebut dan menganalisis keakuratannya dalam mengukur suhu badan.

Setiap informasi yang Anda berikan memiliki nilai yang sangat penting dalam penelitian kami. Dengan bantuan data yang dikumpulkan dari Anda semua, kami dapat memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif tentang perbedaan kinerja antara thermogun dan thermometer. Terima kasih atas kesediaan Anda dalam meluangkan waktu dan energi untuk ikut serta dalam studi ini, kontribusi Anda sangat berharga bagi kemajuan penelitian dan perkembangan ilmu pengetahuan.

Kami juga ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada para peneliti yang telah meluangkan waktu dan usaha mereka dalam membantu proses pembuatan jurnal ini. Dukungan, pengalaman, dan pengetahuan yang Anda berikan telah memberikan kontribusi yang berharga dalam merumuskan penelitian ini. Terima kasih atas dedikasi dan kerja keras Anda dalam menjalankan studi ini, yang telah berdampak positif pada pengembangan pengetahuan di bidang ini. Tanpa

bantuan dan panduan Anda, pencapaian kami dalam penelitian ini tidak akan tercapai. Terima kasih atas kontribusi berharga Anda dan semangat kolaboratif yang telah membuat jurnal ini menjadi sukses.

V. RUJUKAN

- [1] M. Vollmer, K.P Mollmann. *"Infrared Thermal Imaging: Fundamentals, Research and Applications"*. Wiley-VCH, 2010.
- [2] S.R. Turns. *"Thermodynamics: Concepts and Applications"*. Cambridge University Press, 2006.
- [3] D. Vo-Dinh. *"Infrared Technology: Applications to Electro-Optics, Photonic Devices, and Sensors"*. CRC Press, 2004.
- [4] J. Fraden. *"Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications (4th ed.)"*. Springer. 2010.
- [5] Y.M. Nurul, Rancang Bangun Fire Alarm System Pada Kapal Laut Berbasis Sensor Suhu Dan Detektor Asap, Surabaya: IR – Perpust Univ. Airlangga, 2018.
- [6] D.A. Scott. *"Infrared Spectroscopy in Conservation Science"*. Getty Publications. 2020.
- [7] A. Ardiyanto, Arman, E. Supriyadi. "Alat Pengukur Suhu Berbasis Arduino Menggunakan Sensor Inframerah Dan Alarm Pendekripsi Suhu Tubuh Diatas Normal", *Sinusoida*, Vol. 23, No. 1, Hal. 11–21, 2021.
- [8] D. M. Martínez. "Noise Reduction in Differential Amplifiers for Low-Level Signal Acquisition". *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. 2021
- [9] L. Nowell. "A Systematic Literature Review on Methodologies for Analyzing Qualitative Research". *International Journal of Qualitative Methods*. 2021.
- [10] Sugiyono. "Metodologi Penelitian: Langkah-Langkah Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif". *Jurnal Ilmiah Pendidikan*. 2021.

Implementasi Jaringan Syaraf Tiruan untuk Deteksi dan Pemetaan Obyek dengan Metode Backpropagation

**Putri Ananda Rhamadani¹, Yeyen Yulastri¹, Nadziah Fitriani¹, Salman Al Farisyi¹,
Nur Ainun¹, Amelia Manda Sari¹**

¹Teknik Komputer, Universitas Borneo Tarakan
Korespondensi: purtriananda1311@gmail.com

Received: Juli 2022; Accepted: September 2022; Published: November 2022

DOI: <https://doi.org/10.30649/je.v4i2.98>

Abstrak

Pengolahan sinyal radar merupakan bidang yang penting dalam teknologi radar, dengan tujuan deteksi dan pemetaan objek dengan akurasi tinggi. Dalam artikel ini, kami mengusulkan implementasi jaringan syaraf tiruan (JST) menggunakan metode backpropagation untuk deteksi dan pemetaan objek dalam pengolahan sinyal radar. Pendekatan ini memanfaatkan keunggulan JST dalam pembelajaran dan pemrosesan pola kompleks. Metode backpropagation digunakan untuk melatih JST, di mana galat antara output JST dan nilai target digunakan untuk mengoptimalkan bobot dan bias JST secara iteratif. Proses pelatihan ini memungkinkan JST untuk belajar dan menyesuaikan diri dengan data pelatihan, sehingga meningkatkan kemampuan deteksi dan pemetaan objek pada sinyal radar. Implementasi JST dengan metode backpropagation ini memberikan pendekatan yang inovatif dan efektif untuk pengolahan sinyal radar. Dengan kemampuan adaptifnya, JST mampu meningkatkan presisi deteksi dan pemetaan objek dalam sinyal radar. Hasil eksperimen dan evaluasi menunjukkan potensi besar dari pendekatan ini dalam meningkatkan efisiensi dan akurasi sistem radar. Diharapkan bahwa artikel ini dapat memberikan wawasan dan panduan praktis bagi para peneliti dan praktisi dalam implementasi JST dengan metode backpropagation dalam pengolahan sinyal radar untuk deteksi dan pemetaan objek.

Kata kunci: Pengolahan sinyal radar, Jaringan syaraf tiruan, Deteksi objek, Pemetaan objek

Abstract

Radar signal processing is an important field in radar technology, to detect and map objects with high accuracy. In this article, we propose the implementation of an artificial neural network (ANN) using the backpropagation method for object detection and mapping in radar signal processing. This approach takes advantage of ANN's advantages in learning and processing complex patterns. The backpropagation method is used to train the ANN, where the error between the ANN output and the target value is used to iteratively optimize the ANN weights and biases. This training process allows the ANN to learn and adapt to the training data, thereby increasing the ability to detect and map objects to radar signals. The implementation of ANN with the backpropagation method provides an innovative and effective approach for processing radar signals. With its adaptive capabilities,

ANN can increase the precision of object detection and mapping in radar signals. Experimental and evaluation results show the great potential of this approach in increasing the efficiency and accuracy of radar systems. It is hoped that this article can provide insight and practical guidance for researchers and practitioners in implementing ANN with the backpropagation method in processing radar signals for object detection and mapping.

Key words: Radar signal processing, Artificial neural networks, Object detection, Object mapping

I. PENDAHULUAN

Pengolahan sinyal radar merupakan bidang yang penting dan berkembang pesat dalam bidang teknologi radar. Radar digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk navigasi pesawat, pemantauan cuaca, sistem pertahanan, dan pengawasan lalu lintas udara dan laut. Untuk mencapai deteksi dan pemetaan objek dengan presisi tinggi, pengolahan sinyal radar yang efektif sangat penting.

Pendekatan tradisional dalam pengolahan sinyal radar telah memberikan hasil yang baik dalam beberapa tahun terakhir. Namun, dengan kompleksitas sinyal radar yang semakin tinggi dan variasi objek yang semakin kompleks, diperlukan pendekatan yang lebih inovatif dan adaptif.

Dalam beberapa dekade terakhir, perkembangan Jaringan Syaraf Tiruan (JST) telah menjadi sangat signifikan. JST adalah model matematika yang terinspirasi oleh sistem saraf manusia. JST terdiri dari lapisan neuron buatan yang dapat belajar dan beradaptasi dengan pola dalam data input. Metode pelatihan yang umum digunakan untuk JST adalah metode *Back-propagation*. Metode ini melibatkan iterasi berulang untuk mengoptimalkan bobot dan bias JST berdasarkan galat antara output JST dan nilai target yang diinginkan.

Implementasi JST dengan metode *Backpropagation* dalam pengolahan sinyal radar memiliki beberapa keuntungan. Pertama, JST dapat mempelajari pola kompleks dalam data sinyal radar yang sulit ditangkap oleh metode konvensional. Kedua, dengan adaptabilitasnya, JST dapat

mengenali dan memetakan objek dengan presisi tinggi, termasuk dalam kondisi lingkungan yang bervariasi dan kompleks. Dalam konteks pengolahan sinyal radar, penggunaan JST sebagai pendekatan inovatif menawarkan potensi besar. JST dapat mempelajari pola-pola yang kompleks dalam sinyal radar dan memungkinkan deteksi dan pemetaan objek dengan presisi tinggi. Dengan kemampuan adaptifnya, JST dapat mengatasi perubahan lingkungan dan menghadapi gangguan yang mungkin terjadi.

Menurut Chrisal, Triyogatama dan Danang [1] yang melakukan penelitian yang berjudul Rancang Bangun *E-Nose* untuk mendeteksi Tingkat Kebusukan Ikan Air Tawar, mereka melakukan penelitian dengan mendeteksi aroma-aroma dengan memanfaatkan larik sensor dengan memakai metode PCA (*Principal Component Analysis*), tetapi hasil penelitiannya tidak dapat mengelompokkan atau mengklasifikasi jenis sampel yang diuji. Penelitian yang dilakukan oleh Budi dan Arief [2] dengan judul Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan Pada Sistem *E-Nose* dengan menggunakan 3 buah sampel yaitu bakso, tahu dan mie dengan uji responnya terhadap 2 kondisi yaitu tanpa formalin dan dengan formalin dengan sensor polimer, hasilnya menunjukkan keakuratan sebesar 75% adanya kandungan formalin didalamnya.

Penelitian lain yang juga menggunakan metode Jaringan Syaraf Tiruan/*Artifical Neural Network* (ANN) dilakukan oleh Maria dan Kunto [3] dengan judul Desain Sistem Pengenalan dan Klasifikasi...

si Kopi Bubuk Bermerek Dengan Menggunakan *Electronic Nose* Berbasis *Artifical Neural Network* yang mana hasilnya mampu dijadikan sebagai acuan untuk mengklasifikasikan kopi. Penelitian yang sama tentang pengklasifikasian jenis bubuk kopi dengan metode Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation* yang dila-kukan Desti [4] hasil penelitiannya adalah untuk udara netral, kopi arabika dan kopi robusta adalah 100%, 40% dan 100%. Penelitian Yohanes [5] dengan judul Pengenalan Angka Tulisan Tangan Meng-gunakan Jaringan Syaraf Tiruan, ia meng-gunakan metode JST ini lalu mengembang-kannya ke dalam bahasa pemograman Pyhton yang hasilnya dapat mengenali 96% contoh gambar yang diujikan.

Dari latar belakang tersebut, kami mencoba menerapkan JST dengan metode Backpropagation untuk deteksi dan pemetaan objek dalam pengolahan sinyal radar. Tujuannya adalah untuk meningkatkan akurasi dan presisi dalam pengenalan objek, serta mengurangi tingkat kesalahan yang mungkin terjadi. Melalui implementasi ini, diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi pengolahan sinyal radar yang lebih maju dan efektif. Dengan memanfaatkan keunggulan JST dan metode *Backpropagation*, diharapkan mampu mengatasi tantangan dalam deteksi dan pemetaan objek dalam pengolahan sinyal radar dengan tingkat presisi yang lebih tinggi.

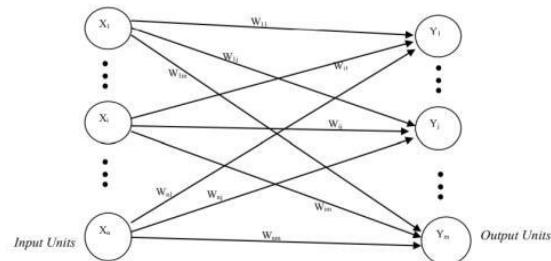
II. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan

- a. Jaringan Layer Tunggal

Pada Gambar 1 di atas dapat dilihat bahwa layer tunggal dengan n buah masukan (x_1, x_2, \dots, x_n) dan m buah keluaran. Dalam jaringan ini semua unit input dihubungkan dengan semua unit output.



Gambar 1. Jaringan Layer Tunggal [6].

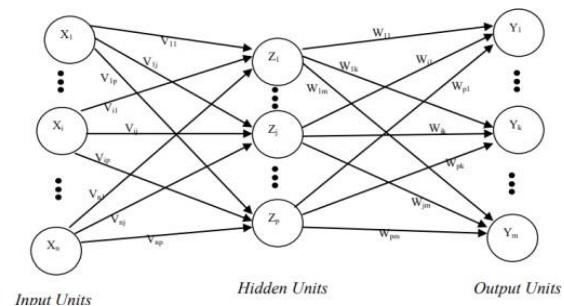
Keterangan:

x_1, x_i, x_n : Nilai masukan ke-1 sampai ke- n

y_1, y_j, y_m : Nilai output hasil pembangkitan nilai input oleh suatu fungsi aktivasi

w_i : Bobot

- b. Jaringan Layer Jamak



Gambar 2. Jaringan Layer Jamak [6].

Keterangan:

x_1, x_i, x_n : Nilai masukan ke-1 sampai ke- n

z_1, z_j, z_p : Nilai dari unit tersembunyi atau hidden layer

y_1, y_k, y_m : Nilai keluaran dari nilai input suatu fungsi aktivasi

v_i, w_j : bobot

Pada Gambar 2 di atas dapat dilihat layer dengan n buah input atau masukan x_1, x_2, \dots, x_n , layer tersembunyi atau hidden units z_1, z_2, \dots, z_p dengan jumlah p buah dan layer y_1, y_2, \dots, y_m output dengan m buah. Pada Jaringan Layer Jamak ini semua input akan terhubung ke hidden units, lalu dari hidden units akan dihubungkan lagi ke unit

keluaran atau output. Walaupun proses pelatihan yang dilakukan pada layer ini lebih lama tetapi hasil penyelesaian masalahnya lebih baik dari pada layer tunggal.

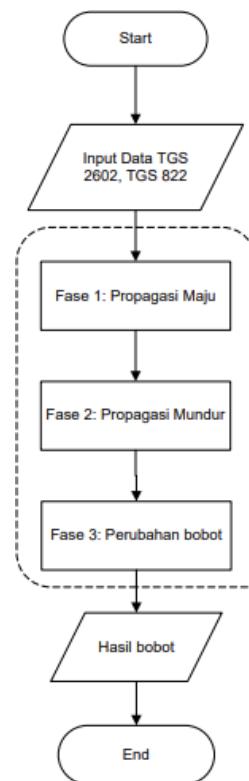
2. Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation

Jaringan Syaraf Tiruan atau JST merupakan sistem yang memproses informasi yang punya ciri serta karakteristik mirip dengan jaringan syaraf yang ada pada tubuh manusia. Metode *Backpropagation* melakukan latihan atau training jaringan untuk bisa memperoleh hasil yang seimbang antara kemampuan jaringan saat pelatihan dalam mengenali pola dengan kemampuan jaringan dalam merespon dengan benar pola input atau masukan yang mirip tetapi tidak sama dengan pola yang dipakai pada saat melakukan pelatihan atau training.

Backpropagation memiliki 3 buah lapisan yaitu lapisan masukan atau input, lapisan keluaran atau output dan lapisan tersembunyi atau hidden layer [4].

Pada Gambar 3 menjelaskan bahwa Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation* memiliki 3 fase [3] yaitu, pertama Propogasi Maju Pola input yang dihitung dimulai dari input layer sampai output layer, untuk penghitungannya secara maju. Kedua Propogasi Mundur, Propogasi mundur dilakukan dengan sesuatu yang berkaitan atau berhubungan langsung dengan unit yang berada di output layer.

Propogasi dilakukan dikarenakan adanya selisih output dengan target yang kita inginkan. Ketiga Propogasi Bobot, perubahan yang dilakukan pada bobot agar kesalahan atau error dapat dikurangi atau diturunkan. Fase-fase diatas akan terus dilakukan secara berulang-ulang sampai kondisi terpenuhi.



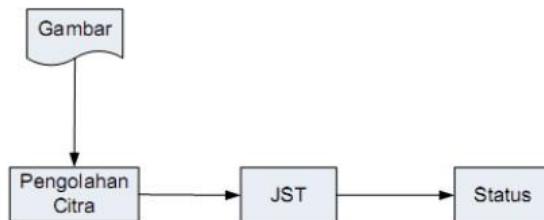
Gambar 3. Flowchart Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation* [3].

3. Metode Pengumpulan Data

Mengumpulkan data radar yang terdiri dari sinyal-sinyal yang merepresentasikan objek-objek di lingkungan yang diamati. Kemudian melakukan prapemrosesan data untuk menghilangkan noise, memfilter sinyal, dan mempersiapkan data untuk pengolahan selanjutnya.

4. Konsep Pengenalan dan Pengolahan Citra

Ketika komputer memperoleh data citra masukan, komputer akan menganalisa data citra tersebut, dan mengidentifikasi citra tersebut dengan suatu pembelajaran. Dengan data-data input yang sudah ada, maka proses pembelajaran dilakukan terhadap kemungkinan-kemungkinan yang ada. Hasil atau status dari pembelajaran jaringan syaraf tiruan ini disebut pengidentifikasi citra.



Gambar 4. Data Flow Diagram Proses Pengenalan Gambar [7]

Secara matematis JST dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$vk = \sum_{j=0}^p w_{kj}x_j \quad (1)$$

$$yk = \varphi(vk) \quad (2)$$

Rumus (1) dan (2) diatas mempunyai analogi mengenai *summation function* yang dilakukan dengan fungsi pencarian nilai rata-rata untuk bobot pada semua elemen yang diinputkan. Dimana setiap nilai input (X_j) akan dikalikan dengan bobotnya (W_{ij}) dan dijumlahkan. Dalam penelitian ini akan digunakan JST, karena keunggulan yang dimiliki:

- JST melakukan proses perhitungan angka secara langsung tanpa merubah angka tersebut ke bentuk numerik terlebih dahulu.
- JST tidak diprogram untuk menghasilkan bentuk luaran tertentu. Semua luaran dihasilkan dari perhitungan jaringan selama proses pembelajaran (learning).
- Pola pembelajaran dalam JST menggunakan pola input dan output dimana jaringan akan diberikan arahan dan pembelajaran sehingga menghasilkan jawaban tertentu yang dapat diterima.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pembentukan Dataset

Membagi data radar menjadi dataset latih (training set) dan dataset uji (test set). Kemudian memastikan dataset latih dan uji memiliki distribusi yang representatif dari

objek-objek yang ingin dideteksi dan dipetakan.

2. Inisialisasi Jaringan Syaraf Tiruan

Menentukan arsitektur jaringan syaraf tiruan yang sesuai untuk masalah deteksi dan pemetaan objek menggunakan metode *Backpropagation*. Menentukan jumlah lapisan (layer) dan jumlah neuron di setiap lapisan. Kemudian Inisialisasi bobot dan bias jaringan dengan nilai acak atau menggunakan metode inisialisasi tertentu.

3. Pelatihan Jaringan

Melakukan pelatihan jaringan syaraf tiruan dengan menggunakan metode *Backpropagation*. Menggunakan dataset latih untuk memperbarui bobot dan bias jaringan berdasarkan perhitungan galat dan perubahan bobot menggunakan rumus-rumus yang telah dijelaskan sebelumnya. Kemudian mengulangi proses pelatihan dengan mengiterasi dataset latih dalam beberapa epoch (siklus pelatihan) untuk meningkatkan performa jaringan.

4. Evaluasi Performa

Menggunakan dataset uji untuk menguji performa jaringan syaraf tiruan yang telah dilatih. Mengukur metrik evaluasi seperti akurasi, presisi, *recall*, dan F1-score untuk mengevaluasi kemampuan jaringan dalam mendekripsi dan memetakan objek dengan presisi tinggi.

5. Analisis Hasil

Menganalisis hasil evaluasi performa jaringan syaraf tiruan. Kemudian mengevaluasi kelebihan dan kekurangan dari implementasi metode *Backpropagation* dalam deteksi dan pemetaan objek menggunakan data radar.

Pada Tabel 1, hasil dari kombinasi tiap neuron dengan ukuran berbeda menghasilkan akurasi yang berbeda. Untuk neuron berukuran besar memiliki akurasi yang lebih baik sebesar 91,72% dibandingkan dengan neuron dengan

ukuran yang lebih kecil, namun waktu komputasi yang dibutuhkan neuron ukuran besar lebih lama yaitu mencapai 382,725

detik dibandingkan dengan jumlah neuron yang lebih sedikit.

Tabel 1. Pengaruh Jumlah Neuron Yang Berbeda – Beda di Setiap Layer [8]

Percobaan Ke-n	Jumlah Neuron			Akurasi (%)	Presisi (%)	Recall (%)	Time (s)
	Hidden layer 1	Hidden layer 2	Hidden layer 3				
Tahap 1	128	128	96	90.23	90.22	90.23	377.690
Tahap 2	128	96	96	89.90	89.92	89.91	357.723
Tahap 3	128	128	64	90.18	90.17	90.18	354.095
Tahap 4	128	64	64	89.69	89.67	89.67	237.610
Tahap 5	128	96	64	89.11	89.10	89.10	311.608
Tahap 6	128	96	32	88.78	88.79	88.79	246.026
Tahap 7	96	96	64	89.77	89.77	89.78	236.715
Tahap 8	96	64	64	89.04	89.05	89.05	221.264
Tahap 9	96	64	32	86.53	86.54	86.53	194.34
Tahap 10	64	64	64	91.37	91.38	91.38	246.968
Tahap 11	96	96	96	91.42	91.43	91.43	250.042
Tahap 112	128	128	128	91.72	91.73	91.73	382.725

IV. SIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan jaringan syaraf tiruan dengan metode *Backpropagation* dapat meningkatkan kemampuan deteksi objek dalam data radar. Dengan melatih jaringan menggunakan dataset yang tepat, penulis berhasil mengoptimalkan bobot dan bias jaringan sehingga dapat mengenali dan memetakan objek dengan akurasi yang tinggi mencapai 91,72%.

Penerapan metode *Backpropagation* juga memungkinkan adaptabilitas jaringan terhadap variasi kondisi lingkungan. Jaringan syaraf tiruan dapat belajar dan menyesuaikan diri dengan pola sinyal radar yang berbeda, sehingga meningkatkan keandalan dalam deteksi dan pemetaan objek.

Namun, perlu diperhatikan bahwa penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Salah satunya adalah terbatasnya jumlah data yang digunakan dalam penelitian ini. Dalam penelitian masa depan, disarankan untuk memperluas dataset latih

dan uji untuk meningkatkan generalisasi jaringan.

Secara keseluruhan, implementasi jaringan syaraf tiruan dengan metode *Backpropagation* membawa kontribusi signifikan dalam pengolahan sinyal radar untuk deteksi dan pemetaan objek. Penelitian ini memberikan landasan yang kuat bagi pengembangan teknik pengolahan sinyal radar yang lebih canggih di masa depan, yang dapat digunakan dalam berbagai aplikasi seperti navigasi, pengawasan, dan keamanan.

Kesimpulan ini menegaskan bahwa implementasi jaringan syaraf tiruan dengan metode *Backpropagation* memiliki potensi besar dalam meningkatkan deteksi dan pemetaan objek dengan presisi tinggi menggunakan data radar, namun masih ada ruang untuk penelitian lebih lanjut dan pengembangan teknik yang lebih canggih di masa depan.

V. RUJUKAN

- [1] D. Lelono, C.A. Lintang, T.W. Widodo. “Rancang Bangun *Electro-nic Nose* untuk Mendeteksi Tingkat Kebusukan Ikan Air Tawar,” *Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems*. Vol. 6, No. 2, Hal. 129–140. 2016.
- [2] A. Sudarmadji dan B. Gunawan, “Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan Pada Sistem E-Nose”. *Prosiding SNATIF Ke-4*. Hal. 317–325, 2017.
- [3] M. Ulfa, Haryanto dan K.A. Wibisono. “Desain Sistem Pengenalan dan Klasifikasi Kopi Bubuk Bermerek dengan Menggunakan *Electronic Nose* Berbasis Artifical Neural Network”. *J-ELTRIK*. Vol. 1, No. 2, Hal. 51–60. 2019.
- [4] D. Rabersyah, Firdaus dan Derisma. “Identifikasi Jenis Bubuk Kopi Menggunakan *Electronic Nose*”. *Jurnal Nasional Teknik Elektro (JNTE)*. Vol. 5, No. 3, Hal. 332-338, 2016.
- [5] Y.B. Widodo. “Pengenalan angka tulisan tangan menggunakan jaringan syaraf buatan”. *Jurnal Teknologi Informatika & Komputer*. Vol. 5, No. 1, Hal. 51–54, 2019.
- [6] R.W. Purnamasari, D. Dwijanto dan E. Sugiharti. “*Backpropagation* sebagai Sistem Deteksi Penyakit Tuberculosis. (TBC)”. *Unnes Journal of Mathematics*, Vol. 2, No. 2, Hal. 90-96, 2013.
- [7] J. Adler , J.N. Panjaitan, dan A.S. Awaludin. “Penerapan Jaringan Syaraf Tiruan (JST) Untuk Mendeteksi Pola Gambar Pada Permukaan Yang Memiliki Corak Tertentu”. *Komputika : Jurnal Sistem Komputer*, Vol. 1, No. 2, Hal. 1-10, 2012.
- [8] A. A. Sg. Mas Karunia Maharani dan F. Bimantoro. “Pengenalan Pola Tulisan Tangan Aksara Sasak Menggunakan Metode *Linear Discriminant Analysis* dan Jaringan Syaraf Tiruan Jenis Back-propagation”. *Jurnal Teknologi Informasi, Komputer, Dan Aplikasinya (JTIKA)*, Vol. 2, No. 2, Hal. 237-247, 2020.

Implementasi *Early Warning System* Bencana Banjir berdasarkan Ketinggian Air Bendungan

**Hadi Suyanto¹, Andi Kusuma¹, Bagus Kusuma Aditya², Tri Agung Kristiyono²,
Eviana Hariandika¹, Aditya Maulana Ichsan²**

¹Universitas Hang Tuah, Program Studi Magister Teknik Kelautan

²Universitas Hang Tuah, Program Studi Teknik Perkapalan

Korespondensi: bagus.aditya@hangtuah.ac.id

Received: Juli 2022 ; Accepted: September 2022 ; Published: November 2022

DOI: <https://doi.org/10.30649/je.v4i2.107>

Abstrak

Bendungan Sampean Baru merupakan salah satu bendungan yang berada di Kabupaten Bondowoso Jawa Timur. Bendungan ini memiliki dua fungsi utama yaitu sebagai irigasi dan PLTM. Berdasarkan keterangan petugas penjaga bendungan, untuk mencegah bencana banjir, ketinggian air di bendungan harus selalu dipantau dan dicatat selama 24 jam. Jika ketinggian air di bendungan melebihi batas maksimal ketinggian air yang ditentukan, maka kondisi tersebut dapat memicu terjadinya bencana banjir. Jika hal tersebut terjadi, maka petugas harus segera menyebarkan informasi potensi terjadinya bencana banjir kepada warga dengan cara dari mulut ke mulut. Hal tersebut membutuhkan waktu yang cukup lama dan kurang efisien. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membantu penjaga bendungan dan masyarakat sekitar Bendungan Sampean Baru dalam mengetahui ketinggian air pada bendungan serta mengetahui sejak dulu akan terjadinya bencana banjir di wilayah sekitar bendungan. Metode pelaksanaan dalam kegiatan ini meliputi survey lokasi dan koordinasi, Desain dan pembuatan alat, Instalasi alat di lokasi mitra serta Sosialisasi dan pelatihan. Pada penelitian ini, telah dihasilkan sebuah alat yang dikenal dengan nama *Early Warning System* bencana banjir. Alat ini memiliki akurasi mencapai 97,33%. Selain itu alat ini mampu memberikan peringatan kepada penjaga bendungan maupun masyarakat sekitar jika permukaan air di dalam bendungan melebihi batas ketinggian yang telah ditentukan dengan menggunakan sebuah sirine.

Kata kunci: bendungan; banjir; kabupaten bondowoso; *early warning system*

Abstract

The Sampean Baru Dam is one of the dams in Bondowoso County's, East Java. This dam has two main functions, namely as irrigation and PLTM. Based on the information from the dam guard, to prevent floods, the water level in the dam must always be monitored and recorded 24 hours a day. If the water level in the dam exceeds the specified maximum water level, then this condition can trigger a flood disaster. If this happens, officers must immediately disseminate information on the potential for flooding to residents by word of mouth. It takes quite a long time and is less efficient. The purpose of this research is to help dam keepers and the community around the Sampean Baru Dam in knowing the water level in the dam and knowing

from an early age that a flood disaster will occur in the area around the dam. The method of implementation in this activity includes site surveys and coordination, design and manufacture of tools, installation of tools at partner locations as well as outreach and training. In this research, a tool known as the Early Warning System for flood disasters has been produced. This tool has an accuracy of 97.33%. Apart from that, this tool is able to give a warning to dam guards and the surrounding community if the water level inside the dam exceeds a predetermined height limit using an alarm.

Key words: *dam; flooding; bondowoso county's; early warning system*

I. PENDAHULUAN

Bencana banjir, menduduki urutan ketiga penyebab kerugian ekonomi dari semua bencana alam di seluruh dunia [1]. Bencana banjir sendiri adalah suatu kejadian saat air menggenangi daerah yang biasanya tidak digenangi air dalam selang waktu tertentu. Banjir umumnya terjadi pada saat air melebihi volume air yang dapat ditampung di dalam sungai, danau, rawa, drainase maupun saluran air lainnya pada selang waktu tertentu. Masyarakat yang tinggal di sekitar sungai atau daerah pantai yang landai merupakan masyarakat yang paling beresiko terhadap ancaman banjir. Semakin dekat tempat tinggal kita dengan sumber banjir, semakin besar risiko terkena banjir [2].

Kabupaten Bondowoso merupakan salah satu Kabupaten di Jawa Timur yang termasuk Kabupaten rawan bencana. Berdasarkan tinjauan geologi dan topografi, jenis tanah dan pola pemanfaatan lahan wilayah Kabupaten Bondowoso memiliki karakteristik sebagai kawasan rawan terhadap terjadinya bencana alam khususnya banjir dan longsor. Setiap tahun terjadi bencana banjir (terbesar tahun 2008) yang melanda wilayah Kabupaten Bondowoso (daerah bawah Kali Sampean) [3].

Banyaknya korban dan kerugian materi yang didapat, menunjukkan bahwa kesiapan dan pengetahuan pemerintah dan masyarakat setempat terhadap banjir bandang tersebut masih kurang [3]. Masyarakat juga harus mulai tanggap terhadap

bencana alam yang bisa terjadi kapan saja. Salah satu bentuk ketanggungan terhadap bencana banjir yang dapat dilakukan yaitu mengenai informasi peringatan dini [4].

Di Kabupaten Bondowoso terdapat satu bendungan yang bernama Bendungan Sampean Baru. Menurut Peraturan Menteri No. 72/PRT/1997, bendungan adalah se- tiap bangunan penahan air buatan jenis urugan atau jenis lainnya yang menampung air atau dapat menampung air, termasuk pondasi, bukit/tebing tumpuan serta bangunan pelengkap dan peralatannya termasuk juga bendungan limbah galian, tapi tidak termasuk bendung dan tanggul [5].

Sebuah bendungan berfungsi sebagai penangkap air dan menyimpannya di musim hujan waktu air sungai mengalir dalam jumlah besar dan yang melebihi kebutuhan baik untuk keperluan irigasi, air minum, industri atau lainnya. Dengan memiliki daya tampung tersebut, sejumlah besar air yang melebihi keperluan dapat disimpan di dalam waduk dan dapat dilepas mengalir ke dalam sungai lagi sesuai kebutuhan [5].

Bendungan Sampean Baru sendiri merupakan salah satu bendungan yang berada di Kabupaten Bondowoso Jawa Timur. Bendungan ini memiliki dua fungsi utama yaitu sebagai irigasi dan PLTM. Bendungan Sampean Baru berperan sangat penting untuk mencegah bencana banjir dan kekeringan di wilayah Bondowoso dan Situbondo [6].

Berdasarkan keterangan dari petugas penjaga bendungan, jika ketinggian air di bendungan melebihi batas maksimal

ketinggian air maka petugas penjaga bendungan harus segera menyebarkan informasi potensi terjadinya bencana banjir kepada warga dengan cara manual atau dari mulut ke mulut.

Hal tersebut membutuhkan waktu yang cukup lama dan kurang efisien. Berdasarkan uraian tersebut, untuk membantu penjaga bendungan dalam mengetahui ketinggian air pada bendungan serta mengetahui sejak dini akan terjadinya bencana banjir di wilayah sekitar bendungan dibutuhkan sebuah alat yang biasa dikenal dengan nama *Early Warning System* bencana banjir. Dengan adanya *Early Warning System* bencana banjir diharapkan dapat mengurangi resiko kerugian dan mengurangi resiko jatuhnya korban jiwa akibat bencana banjir.

Beberapa penelitian sudah pernah dilakukan mengenai informasi peringatan dini. Salah satu penelitian yang sudah dilakukan agar dapat memberikan peringatan dini akan adanya bencana banjir oleh [4] adalah dengan menggunakan sensor. Sensor akan mendeteksi perubahan ketinggian air sungai, jika air telah melampaui batas level yang telah ditentukan maka akan secara otomatis memberikan peringatan banjir melalui SMS gateway dan web browser yang terhubung secara point to point ke petugas monitoring sungai yang selanjutnya dapat diinformasikan kepada masyarakat.

Penelitian lain yang dilakukan oleh [7] menghasilkan suatu purwarupa dari Sistem peringatan dini berbasis IoT dengan menggunakan Raspberry Pi dan sensor ultrasonik dimana sistem ini dapat melakukan monitoring tinggi muka air sungai dan kemudian menyebarkan informasi ketinggian muka air dan klasifikasi resikonya secara periodik kepada masyarakat melalui aplikasi jejaring sosial Twitter.

Pembuatan sistem peringatan dini bencana banjir juga pernah dibuat oleh [8] menggunakan sensor water level yang terpasang pada gerbang air sungai Tuntang Kedungjati. Perangkat ini juga dilengkapi

dengan SMS gateway sim900a yang bisa mengirimkan SMS untuk memberikan informasi kepada ketua RT dan RW di lingkungan sekitar gerbang air sungai dan teknologi IoT untuk menyimpan data ketinggian air sungai dan untuk menghidupkan sirine tanda peringatan bencana banjir di lingkungan sekitar sungai.

Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh [9] menghasilkan perangkat peringatan dini banjir yang dapat dioperasikan dengan catu daya cahaya matahari dengan memanfaatkan sel surya. Kemudian penelitian yang dilakukan oleh [10] menghasilkan alat sistem peringatan dini banjir yang output level ketinggian air dan curah hujan serta lokasi pemasangan sensor ditampilkan pada website.

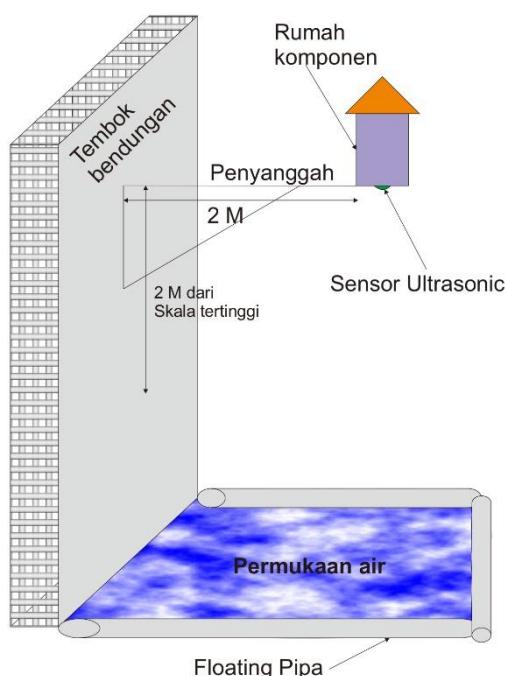
II. METODE PENELITIAN

Metode pelaksanaan dalam kegiatan penelitian implementasi *Early Warning System* bencana banjir melalui tahapan diantaranya survey lokasi dan koordinasi, pada tahapan ini dilakukan survey dan koordinasi terkait kebutuhan dan pemasangan alat *Early Warning System* bencana banjir di Bendungan Sampean Baru Kabupaten Bondowoso. Pada penelitian ini akan dibuat satu unit alat *Early Warning System* bencana banjir yang akan ditempatkan pada salah satu bagian dari Bendungan Sampean Baru.

Selanjutnya tahapan desain dan pembuatan alat, pada tahapan ini dilakukan pembuatan desain dan membuat alat *Early Warning System* bencana banjir, meliputi desain 2D alat, desain rangkaian, desain posisi penempatan alat, dan pembuatan alat *Early Warning System* bencana banjir. Desain 2D dan posisi penempatan alat dapat dilihat pada Gambar 1.

Kemudian terdapat tahapan Instalasi alat di lokasi mitra, pada tahap ini dilakukan pemasangan alat di lokasi yang telah disepakati oleh pihak mitra, instalasi ini meliputi instalasi alat, instalasi

kelistrikan dan juga instalasi jaringan IoT. Tahap yang terakhir adalah sosialisasi dan pelatihan. Pada tahap ini selain pemberian bantuan alat *Early Warning System* bencana banjir juga dilanjutkan dengan memberikan pengetahuan bagaimana pengoperasian dan perawatan alat *Early Warning System* bencana banjir.



Gambar 1. Desain 2D dan posisi penempatan alat

Pada penelitian ini mitra juga akan terlibat dalam pemasangan atau installasi peralatan di lokasi bendungan sehingga dengan adanya alat ini, peralatan lain yang ada di bendungan tidak terganggu. Evaluasi dari pelaksanaan program ini diharapkan nantinya alat ini dapat bermanfaat bagi penjaga Bendungan Sampean Baru serta masyarakat sekitar. Selain itu, penjaga bendungan dan masyarakat sekitar juga akan lebih mudah mengetahui kondisi ketinggian air di dalam bendungan sehingga lebih siap jika bencana banjir melanda wilayah di sekitar Bendungan Sampean Baru.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, telah dihasilkan sebuah alat yang dikenal dengan nama *Early Warning System* bencana banjir. Alat ini mampu memberikan peringatan kepada penjaga bendungan maupun masyarakat sekitar bendungan jika permukaan air di dalam bendungan melebihi batas ketinggian yang telah ditentukan dengan menggunakan sebuah alarm atau sirine. Selain itu, alat ini juga akan mengirimkan data ketinggian air di dalam bendungan ke server untuk disimpan dan data tersebut dapat dilihat oleh masyarakat umum melalui aplikasi android EWS Bencana Banjir.

Early Warning System bencana banjir yang dipasang menggunakan sensor ultrasonik untuk mendeteksi ketinggian air dan menggunakan teknologi IoT untuk mengirimkan data ketinggian air ke server. Selain di server, data ketinggian air di dalam bendungan juga akan disimpan di sebuah micro SD. Selain EWS, juga disertakan sebuah modem sebagai koneksi internet untuk proses pengiriman data ke server. Gambar 2 merupakan alat *Early Warning System* bencana banjir saat dilakukan uji coba di dalam laboratorium.



Gambar 2. Alat *Early Warning System* bencana banjir saat diuji coba di dalam laboratorium

Sedangkan Gambar 3 merupakan sensor ultrasonic yang digunakan untuk mendeteksi ketinggian permukaan air di dalam bendungan.



Gambar 3. Sensor ultrasonik yang digunakan

Sebagai pengolah data utama, pada kegiatan ini digunakan sebuah rangkaian NodeMcu untuk mengolah data dan mengatur pengiriman data ke server. Pada Gambar 4 dapat dilihat rangkaian elektronik yang digunakan.



Gambar 4. Rangkaian elektronik alat *Early Warning System* bencana banjir

Untuk peringatan dini kepada penjaga bendungan dan masyarakat di sekitar Bendungan Sampean Baru, *Early Warning System* bencana banjir yang dipasang dilengkapi sebuah sirine atau alarm serta lampu indikator yang akan menyala jika ketinggian air di dalam bendungan mencapai batas maksimal yang telah ditentukan. Gambar 5 merupakan gambar sirine dan lampu indikator yang digunakan.

Setelah melalui proses pembuatan *Early Warning System* bencana banjir, alat tersebut perlu diuji terlebih dahulu di da-

lam laboratorium untuk mengetahui tingkat akurasi sensor sebelum di pasang pada bendungan. Pada kegiatan ini, dilakukan pengujian pendekripsi ketinggian untuk mengetahui akurasi sensor.

Gambar 6 dapat dilihat sensor ultrasonik saat dilakukan pengujian pendekripsi jarak atau ketinggian. Sedangkan untuk data percobaan, dilakukan percobaan untuk 3 posisi level air yaitu posisi rendah, sedang dan tinggi. Untuk lokasi pengujian juga dilakukan pada dua tempat yaitu di dalam laboratorium dan dilokasi pemasangan. Tabel 1 merupakan data hasil uji coba di dalam laboratorium untuk posisi air terjauh dari sensor.



Gambar 5. Sirine dan lampu indikator yang digunakan



Gambar 6. Pengujian pendekripsi jarak atau ketinggian

Dari Tabel 1 didapatkan akurasi sensor mencapai 94,25%. Akurasi tersebut cukup bagus agar tidak terjadi kesalahan pembacaan ketinggian air yang terlalu

besar. Untuk data percobaan di dalam laboratorium untuk posisi air sedang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Data hasil uji coba pendektsian jarak posisi air terjauh dari sensor di dalam laboratorium

Data ke-	Jarak Sebenarnya (m)	Pembacaan Sensor (m)	Error (m)	Error (%)
1	4	4,3	0,30	7,50
2	4	4,2	0,20	5,00
3	4	4,3	0,30	7,50
4	4	4,4	0,40	10,00
5	4	4,4	0,40	10,00
6	4	4	0,00	0,00
7	4	4,3	0,30	7,50
8	4	4	0,00	0,00
9	4	3,8	0,20	5,00
10	4	3,8	0,20	5,00
Total Error (%)				57,50
Rata-rata error (%)				5,75
Akurasi (%)				94,25

Tabel 2. Data hasil uji coba pendektsian jarak posisi air sedang di dalam laboratorium

Data ke-	Jarak Sebenarnya (m)	Pembacaan Sensor (m)	Error (m)	Error (%)
1	1,5	1,6	0,10	6,67
2	1,5	1,6	0,10	6,67
3	1,5	1,5	0,00	0,00
4	1,5	1,5	0,00	0,00
5	1,5	1,5	0,00	0,00
6	1,5	1,4	0,10	6,67
7	1,5	1,4	0,10	6,67
8	1,5	1,7	0,20	13,33
9	1,5	1,7	0,20	13,33
10	1,5	1,5	0,00	0,00
Total Error (%)				53,33
Rata-rata error (%)				5,33
Akurasi (%)				94,67

Dari Tabel 2 didapatkan akurasi sensor mencapai 94,67%. Akurasi tersebut cukup bagus karena masih di atas 90%. Sedangkan untuk data percobaan di dalam laboratorium untuk posisi air terdekat dengan sensor dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data hasil uji coba pendekatan jarak posisi air terdekat dari sensor di dalam laboratorium

Data ke-	Jarak Sebenarnya (m)	Pembacaan Sensor (m)	Error (m)	Error (%)
1	1	1	0,00	0,00
2	1	1	0,00	0,00
3	1	1,1	0,10	10,00
4	1	0,9	0,10	10,00
5	1	1,2	0,20	20,00
6	1	1	0,00	0,00
7	1	1	0,00	0,00
8	1	1	0,00	0,00
9	1	1,09	0,09	9,00
10	1	1	0,00	0,00
Total Error (%)				49,00
Rata-rata error (%)				4,90
Akurasi (%)				95,10

Dari Tabel 3 didapatkan akurasi sensor mencapai 95,10%. Akurasi tersebut cukup bagus karena masih di atas 90%. Setelah dilakukan pengujian alat di dalam laboratorium dan mendapatkan akurasi yang cukup baik, selanjutnya dilakukan pemasangan *Early Warning System* bencana banjir di lokasi Bendungan Sampean Baru, Kabupaten Bondowoso.

Untuk sensor ultrasonik yang terpasang pada bendungan dapat dilihat pada Gambar 7. Sedangkan data percobaan yang dilakukan di lokasi pemasangan dapat dilihat pada Tabel 4, Tabel 5 dan Tabel 6. Pada Tabel 4 merupakan data percobaan di lokasi pemasangan untuk posisi air terjauh dari sensor. Sedangkan Tabel 5 merupakan data percobaan di lokasi pemasangan untuk posisi air sedang.



Gambar 7. Sensor ultrasonik yang terpasang pada bendungan

Tabel 4. Data hasil uji coba pendektsian jarak posisi air terjauh dari sensor di lokasi pemasangan

Data ke-	Jarak Sebenarnya (m)	Pembacaan Sensor (m)	Error (m)	Error (%)
1	4	4,4	0,40	10,00
2	4	4,2	0,20	5,00
3	4	4,4	0,40	10,00
4	4	4,3	0,30	7,50
5	4	4,4	0,40	10,00
6	4	4,3	0,30	7,50
7	4	4	0,00	0,00
8	4	4	0,00	0,00
9	4	3,8	0,20	5,00
10	4	3,8	0,20	5,00
Total Error (%)				60,00
Rata-rata error (%)				6,00
Akurasi (%)				94,00

Tabel 5. Data hasil uji coba pendektsian jarak posisi air sedang di lokasi pemasangan

Data ke-	Jarak Sebenarnya (m)	Pembacaan Sensor (m)	Error (m)	Error (%)
1	1,5	1,6	0,10	6,67
2	1,5	1,5	0,00	0,00
3	1,5	1,5	0,00	0,00
4	1,5	1,5	0,00	0,00
5	1,5	1,5	0,00	0,00
6	1,5	1,4	0,10	6,67
7	1,5	1,7	0,20	13,33
8	1,5	1,7	0,20	13,33
9	1,5	1,6	0,10	6,67
10	1,5	1,6	0,10	6,67
Total Error (%)				53,33
Rata-rata error (%)				5,33
Akurasi (%)				94,67

Dari Tabel 4 dan Tabel 5 didapatkan akurasi sensor mencapai 94,00% dan 94,67. Sedangkan hasil data percobaan di lokasi pemasangan untuk posisi air terdekat dengan sensor dapat dilihat pada Tabel 6. Dari Tabel 6 didapatkan akurasi

sensor mencapai 94,90%. Setelah seluruh proses selesai dilakukan, selanjutnya dilakukan sosialisasi atau pelatihan secara langsung cara pengoperasian alat *Early Warning System* bencana banjir yang telah terpasang. Setelah dilakukan pelatihan,

maka alat *Early Warning System* bencana banjir siap dioperasikan.

Tabel 6. Data hasil uji coba pendeksiyan jarak posisi air terdekat dari sensor di lokasi pemasangan

Data ke-	Jarak Sebenarnya (m)	Pembacaan Sensor (m)	Error (m)	Error (%)
1	1	1,2	0,20	20,00
2	1	1	0,00	0,00
3	1	1,12	0,12	12,00
4	1	0,9	0,10	10,00
5	1	1	0,00	0,00
6	1	1	0,00	0,00
7	1	1,09	0,09	9,00
8	1	1	0,00	0,00
9	1	1	0,00	0,00
10	1	1	0,00	0,00
Total Error (%)			51,00	
Rata-rata error (%)			5,10	
Akurasi (%)			94,90	

Dari Tabel 1 sampai Tabel 3 didapatkan rata-rata akurasi pembacaan sensor mencapai 94,67%. Sedangkan dari Tabel 4 sampai Tabel 6 didapatkan rata-rata akurasi pembacaan sensor mencapai 94,52%.

IV. SIMPULAN

Dari hasil percobaan dan pemasangan alat *Early Warning System* bencana banjir di lokasi Bendungan Sampean Baru, Kabupaten Bondowoso, dapat ditarik beberapa kesimpulan. Kesimpulan tersebut antara lain rata-rata akurasi alat *Early Warning System* bencana banjir di dalam laboratorium mencapai 94,67% sedangkan rata-rata akurasi alat *Early Warning System* bencana banjir di lokasi Bendungan Sampean Baru, Kabupaten Bondowoso mencapai 94,52%. Akurasi tersebut masih tergolong cukup bagus karena akurasi pembacaan sensor masih di atas 90%. Selain itu, dari hasil percobaan di dalam laboratorium

dan hasil percobaan di lokasi pemasangan untuk akurasi sensor mengalami sedikit penurunan. Hal tersebut dapat dikarenakan perbedaan kondisi lingkungan disekitar sensor yang merupakan lingkungan di luar ruangan.

Sedangkan dari hasil wawancara dengan koordinator bendungan, pemasangan *Early Warning System* bencana banjir dilokasi Bendungan Sampean Baru, Kabupaten Bondowoso sangat membantu penjaga bendungan dan masyarakat sekitar untuk dapat mengetahui ketinggian air secara real time. Selain membantu mengetahui ketinggian air di dalam bendungan, *Early Warning System* bencana banjir ini juga membantu masyarakat dalam memberikan peringatan akan terjadinya bencana banjir di sekitar lokasi Bendungan Sampean Baru, Kabupaten Bondowoso.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampai-

kan kepada seluruh pihak-pihak yang terlibat khususnya Universitas Hang Tuah Surabaya yang telah membiaya penelitian ini. Selain itu, ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada Balai Besar Wilayah Sungai Brantas (BBWS Brantas) yang telah memberi kesempatan kepada kami untuk bekerja sama dalam pemasangan alat *Early Warning System* bencana banjir di Bendungan Sampean Baru, Kabupaten Bondowoso.

V. RUJUKAN

- [1] F. Aprilia. "Kesiap Siagaan Masyarakat Dalam Penanggulangan Banjir Di Kota Semarang". *Jurnal Geografi*, Vol. 12, No. 1, Hal : 102-114, 2015.
- [2] A. Bayu, I. Adam & H. Nur. "Penanggulangan Bencana Banjir Oleh Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Di Kabupaten Berau". *E-Journal Ilmu Pemerintahan*. Vol. 7, No. 2, Hal : 879-890, 2019.
- [3] B.U. Bambang dan D.S. Rima. "Pemintakatan Risiko Bencana Banjir Bandang di Kawasan Sepanjang Kali Sampean, Kabupaten Bondowoso". *Jurnal TEKNIK ITS*. Vol. 1, No. 1, Hal : 58-62, 2012.
- [4] R.U. Fadlul, R. Wrastawa, Z.N. Iskandar. "Sistem Peringatan Dini Bencana Banjir Berbasis Mikrokontroler Arduino". *JAMBURA*, Vol. 1, No. 1, Hal : 1-6, 2019.
- [5] E.S. Setia. "Pemanfaatan Bendungan Sebagai Perencanaan Penyediaan Sumber Air Bersih (Studi Kasus : Bendungan Sei Doranan, Kec. Logas Tanah Darat, Kab. Kuantan Singgingi, Provinsi Riau)". Pekanbaru: *Universitas Islam Riau [Tugas Akhir]*, 2019.
- [6] W.S.N Ika. "Studi Karakteristik Sedimentasi Waduk Sampean Baru Kabupaten Bondowoso". Jember : *Universitas Jember. [Skripsi]*, 2017.
- [7] T. Edwin, V.L. Andreuw, F.P. Kinzie, "Sistem Peringatan Dini Banjir Berbasis IoT dan Twitter Flood Early Warning Sistem Based On Iot And Twitter". *Cogito Smart Journal*, Vol. 7, No. 1, Hal : 26-39, 2021.
- [8] D. Danang, S. Suwardi, A.H. Ihsan. "Mitigasi Bencana Banjir dengan Sistem Informasi Monitoring dan Peringatan Dini Bencana menggunakan Mikrokontroler Arduino Berbasis IoT". *TEKNIK*, Vol. 40, No. 1, Hal : 55-60, 2019.
- [9] P. Agung, F. Rahmad, Rahmat, "Rekayasa Sistem Peringatan Dini Bencana Banjir Berbasis IoT Menggunakan Raspberry PI". *Jurnal Teknologi TECHNOSCIENTIA*, Vol. 15, No. 1, Hal : 29-35, 2022.
- [10] Z. Zahir, L.A. Abdul. Z.N. Andi. "Sistem Peringatan Dini Banjir". Inspiration : *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi*, Vol. 9, No. 2, Hal : 167-173, 2019.

Sistem Akuisisi Gas Karbon Dioksida dan Potensinya sebagai Alat Ukur Emisi pada Tanah Gambut

Mulyadi¹, Buyung Romadona²

¹Jurusan Teknik Komputer Fakultas Teknik Universitas Borneo Tarakan

²Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Borneo Tarakan

Korespondensi: mulyadi@borneo.ac.id

Received: Juli 2022 ; Accepted: September 2022 ; Published: November 2022

DOI: <https://doi.org/10.30649/je.v4i2.108>

Abstrak

Penelitian ini menyajikan sistem akuisisi data berbasis sensor gas semikonduktor dengan material utama oksida logam untuk pengukuran konsentrasi gas karbon dioksida (CO_2) yang dapat dimanfaatkan di dalam dan di luar ruangan. Bahan oksida logam akan mengalami perubahan resistansi ketika terpapar gas karbon dioksida, perubahan resistansi tersebut dapat diukur untuk mengetahui kadarnya pada suatu wadah. Sistem ini telah diimplementasikan pada papan sirkuit tercetak untuk mendapatkan berbagai aspek. Beberapa percobaan telah dilakukan untuk mengevaluasi sistem yang dikombinasikan dengan aplikasi nirkabel. Tes yang berbeda direalisasikan dalam lahan terbuka menggunakan sistem transek pada lima titik sampel dengan rata-rata kesalahan sebesar 4,01%. Purwarupa yang dikembangkan dalam penelitian ini mempertimbangkan variasi temporal dalam emisi CO_2 dari ekosistem gambut. Dengan demikian purwarupa yang telah dibangun diharapkan dapat diterapkan dalam pengukuran fluks CO_2 di lapangan serta gas rumah kaca lainnya untuk mengurangi ketidakpastian emisi.

Kata kunci: karbon dioksida, sensor, emisi, gambut

Abstract

This research presents a semiconductor gas sensor-based data acquisition system with metal oxide as the main material for measuring carbon dioxide (CO_2) gas concentration that can be utilized indoors and outdoors. The metal oxide material will experience a change in resistance when exposed to carbon dioxide gas, the change in resistance can be measured to determine its level in a container. This system has been implemented on a printed circuit board to obtain various aspects. Several experiments have been conducted to evaluate the system combined with wireless applications. Different tests were realized in an open field using a transect system at five sample points with an average error of 4.01%. The prototype developed in this research considers temporal variations in CO_2 emissions from peat ecosystems. Thus, the developed prototype is expected to be applied in field measurements of CO_2 fluxes and other greenhouse gases to reduce emission uncertainties.

Key words: *carbon dioxide, sensor, emission, peat*

I. PENDAHULUAN

Lahan gambut hanya menutupi sekitar 3% dari luas lahan global tetapi menyimpan karbon dua kali lebih banyak dari biomassa hutan global [1][2]. Sekitar 43–51 MHa kawasan lahan gambut global terdegradasi [3]. Lahan gambut tersebut telah dikeringkan untuk pertanian, kehutanan atau ekstraksi gambut. Lahan gambut terdegradasi mengeluarkan karbon dioksida dari oksidasi gambut dan gas rumah kaca lainnya selama berabad-abad jika tidak dibasahi kembali [4].

Lahan gambut alami menumpuk gambut dari bahan tanaman mati, sehingga menghilangkan CO₂ dari atmosfer [5], pada saat yang sama, dekomposisi bahan tanaman mati dalam kondisi anaerob menyebabkan emisi metana (CH₄) dengan efek gas rumah kaca kira-kira 30 kali lipat CO₂ [6]. Selama rentang waktu 100 tahun, efek penangkal ini bahkan dapat saling meniadakan [7]. Oleh karena itu, lahan gambut alami dapat dianggap dari penyerap gas rumah kaca sedang hingga iklim netral [8].

Ketika lahan gambut dikeringkan gambut mulai terurai secara aerobik dan karena itu pada tingkat yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan akumulasi anaerobik, yang menghasilkan emisi CO₂ yang cukup besar. Selain itu, oksidasi gambut menyebabkan emisi dinitrogen oksida (N₂O) dan CH₄ dalam jumlah yang lebih kecil [3][9].

Selain itu, parit di lahan gambut yang dikeringkan membawa karbon organik terlarut (DOC) dalam jumlah yang lebih besar dari lahan gambut daripada kondisi alaminya, dan sebagian besar DOC teroksidasi dan dilepaskan sebagai CO₂. Dalam hal potensi pemanasan global, CO₂ sejauh ini merupakan gas rumah kaca terpenting dari lahan gambut yang terdegradasi [7]. Proses oksidasi gambut yang lengkap bisa memakan waktu berabad-abad untuk endapan gambut dalam [11]. Oleh karena itu, setiap unit lahan gambut yang di-

keringkan merupakan penyumbang pemanasan global hingga akhirnya semua gambut terdekomposisi. Selain perlindungan lahan gambut utuh, opsi untuk membalikkan tren ini adalah restorasi lahan gambut yang dikeringkan melalui pembasahan kembali [7][11][12].

Serupa dengan lahan gambut yang masih utuh, lahan gambut yang dibasahi kembali menyerap CO₂ dari atmosfer tetapi mengeluarkan metana rata-rata 46% lebih banyak [13]. Emisi gas rumah kaca bersih dari lahan gambut yang dibasahi dalam banyak kasus jauh lebih rendah dibandingkan dengan lahan gambut yang dikeringkan, tetapi pengurangan emisi bervariasi dari waktu ke waktu dan di wilayah iklim yang berbeda, dan karenanya tidak mudah digeneralisasikan [3][7].

Menurut faktor emisi terbaru, lahan gambut yang dibasahi kembali selama jangka menengah memiliki gas rumah kaca yang lebih tinggi daripada lahan gambut utuh [3][7][9]. Namun meskipun lahan gambut yang dibasahi kembali mungkin tetap negatif untuk iklim secara absolut, mitigasi gas rumah kaca dibandingkan dengan status pengeringan sebelumnya masih cukup besar. Dari Uraian tersebut maka dibutuhkan suatu perangkat pengukuran yang dapat dengan muah dibawa ke lahan terbuka dan melakukan akuisisi data emisi langsung dari lapangan.

Saat ini ada beberapa cara pengukuran kadar emisi gas karbon dioksida yang biasa digunakan. Cara pertama menggunakan metode konvensional yaitu dengan melakukan reaksi kimia untuk mendapatkan nilai kadar emisi gas karbon dioksida dari sampel tanah gambut. Metode ini memiliki kekurangan yaitu limbah hasil reaksi kimia sangat berbahaya dan dapat merusak lingkungan.

Metode ini membutuhkan analisa sampel menggunakan *Fourier-Transform Infrared (FTIR) spectrophotometer*, yang menyebabkannya menjadi kurang praktis karena sampel tanah gambut harus diuji di

laboratorium [14]. Metode selanjutnya adalah menggunakan peralatan *Infra Red Gas Analyzer* dan *Gas Chromatography* [15]. Biaya pengoperasian dan perawatan peralatan ini sangat mahal serta membutuhkan tenaga ahli dengan kepakaran khusus untuk mengoperasikannya [16].

Penelitian ini merealisasikan sebuah perangkat pengukuran emisi gas karbon dioksida pada lahan gambut yang terdiri dari seperangkat sensor gas dan sebuah realisasikan sistem akuisisi data berbasis pengendali mikro yang dilengkapi dengan penampilan data untuk menampilkan hasil pembacaan pengukuran kadar emisi gas karbon dioksida.

Perangkat ini memiliki beberapa keunggulan yaitu praktis dalam penggunaan, hasil pengukuran langsung dapat diketahui, dapat dibangun dengan biaya yang relatif murah namun akurasinya dapat dipertanggungjawabkan serta tidak menyebabkan kerusakan lingkungan.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merealisasikan sistem pengukuran emisi CO₂ berbiaya rendah untuk pemantauan lingkungan, berdasarkan mikrokontroler yang dapat menawarkan alternatif untuk peralatan penginderaan CO₂ komersial sambil tetap memberikan pengukuran yang akurat. Karakteristik dari desain termasuk kemampuan untuk menandai waktu akuisisi data, sehingga dapat digabungkan dengan kumpulan data dari sumber lain.

Opsi input daya yang stabil, *portable*, dan bervolume tinggi sangat penting dan konsumsi daya yang rendah dari pencatat data untuk meningkatkan kesesuaian untuk penerapan di lapangan. Penggunaan untuk fitur lebih luas mensyaratkan penyimpanan data berkapasitas tinggi. Banyak studi lingkungan yang ikut memantau suhu dan tekanan atmosfer, terutama dalam pengukuran fluks CO₂ berbasis

ruang, sehingga penggabungan barometer dan sensor suhu diselidiki.

Desain yang diproyeksikan di luar pemantauan CO₂ sengaja dibuat fleksibel karena kami mengantisipasi desain akhir yang seimbang antara biaya dan kesesuaian keseluruhan komponen yang tersedia.

Pada penelitian ini kami menggunakan ruang dinamis tertutup dari bahan polimer termoplastik terbuat dari klorin dan etilena. Beberapa solusi teknis tersedia untuk merancang sistem ruang otomatis untuk fluks CO₂, CH₄ dan N₂O antara tanah atau ekosistem dan atmosfer. Sistem ini biasanya diklasifikasikan ke dalam sistem ruang dinamis terbuka (aliran melalui kondisi tunak) dan ruang dinamis tertutup (aliran melalui kondisi tidak tunak).

Dalam ruang dinamis terbuka, udara sampel ditarik dari ruang ke penganalisis gas dan udara pengganti dengan konsentrasi gas yang diketahui diarahkan ke ruang untuk menjaga keseimbangan tekanan. Selama penutupan ruang, ruang *headspace* mencapai konsentrasi kondisi tunak sehingga fluks dapat dihitung.

Ruang dinamis tertutup beroperasi dalam mode tertutup sepenuhnya di mana udara sampel secara terus menerus ditarik dari ruang *headspace* ke penganalisis gas dan dikembalikan ke ruang dan mengukur perubahan konsentrasi emisi secara terus menerus dalam ruang *headspace* dalam waktu yang singkat. Fluks dihitung dari perubahan ini dengan menggunakan model persamaan linier [17].

Desain ruang dan protokol pengukuran meminimalkan kerugian dari sistem ruang, misalnya, perubahan iklim mikro di dalam ruang, seperti radiasi, curah hujan, suhu, kecepatan angin, dan masukan sampah.

Perhatian khusus diberikan pada kesetimbangan tekanan antara ruang *headspace* dan udara, khususnya, selama penutupan ruang tetapi juga selama seluruh periode pengukuran ketika sampel udara diambil dari ruang *headspace* untuk meng-

hindari bias pada perkembangan konsentrasi udara ruang dari waktu ke waktu.

Pengukuran otomatis eflux CO_2 dilakukan dengan ruang yang mencakup area antara 0,03 dan 1 m^2 . Heterogenitas kerapatan akar dipertimbangkan dengan menempatkan bilik-bilik pada jarak yang berbeda. Pengukuran emisi yang diselidiki dan pengumpulan data dimulai segera setelah pemasangan cungkup.

Tinggi ruang pengukuran adalah 0,1 meter. cungkup harus mencapai setidaknya 0,05 m ke dalam tanah dan memanjang tidak lebih dari 0,30 m di atas permukaan. Rasio tinggi dan diameter di atas permukaan tanah harus sama atau lebih kecil dari 0,5. Namun demikian, penyisipan cungkup harus diminimalkan untuk menghindari gangguan akar.



Gambar 1. Lahan pengukuran emisi

Durasi penutupan harus sesingkat mungkin tetapi cukup lama untuk mengukur perubahan emisi yang diselidiki. Durasi ini harus didasarkan pada tingkat perubahan konsentrasi emisi yang diteliti. perubahan konsentrasi selama penutupan ruang mengikuti tren linier dan karenanya fluks dapat didekati dengan model linier.

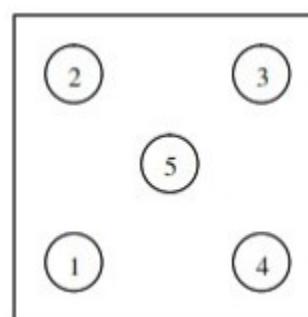
Penentuan durasi penutupan bergantung pada besarnya fluks, rasio volume ruang terhadap luas area, difusivitas udara tanah. Umumnya, lima menit adalah waktu yang cukup untuk mendapatkan perubahan konsentrasi emisi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada awal pengujian, sistem yang dirancang telah diuji pada keluaran gas yang dihasilkan oleh mesin penghasil gas. Pengujian ini menggunakan alat standar untuk membandingkan keakuratan dari sistem yang dirancang, yaitu Dragger Xm-7000. Mekanisme pendekripsi konsentrasi karbon dioksida di dalam tanah dibagi menjadi 3 bagian, yaitu sumber gas, penghalang gas, dan sistem sensor.

Sumber gas mengalirkan gas karbon dioksida ke penghalang, penghalang adalah bagian dari sistem untuk menempatkan dan mengatur ketebalan gambut. Sedangkan sistem sensor menggunakan sensor gas semikonduktor produksi figaro. Sensor gas MG-811 dan mikrokontroler Atmega328 mengukur konsentrasi karbon-dioksida yang terkandung dalam gambut. Hasil pengukuran akan ditampilkan pada layar penampil dan direkam pada kartu micro.

Sebelum dilakukan pengujian pada tanah gambut, dilakukan kalibrasi sensor MG 811 untuk mengetahui program yang telah dimasukkan sesuai dengan yang diinginkan. Kalibrasi dilakukan dengan cara sensor diletakkan di dalam kotak tertutup dan dialiri karbondioksida selama 60 detik.



Gambar 2. Titik pengukuran

Keluaran dari sensor MG 811 berupa beda potensial listrik (tegangan). Semakin banyak karbondioksida yang terdeteksi, maka semakin kecil tegangan yang diha-

silikan oleh sensor MG 811. Percobaan dilakukan dengan meletakkan sampel tanah gambut di atas pembatas dan mengatur ketebalannya sebesar 7 cm. Penghalang ini dialiri gas karbondioksida dari sumbernya. Gas karbondioksida yang mengalir di dalam tanah akan dideteksi oleh sensor MG-811. Tegangan keluaran dari MG-811 dikonversi oleh mikrokontroler menjadi satuan *part per million* (ppm).

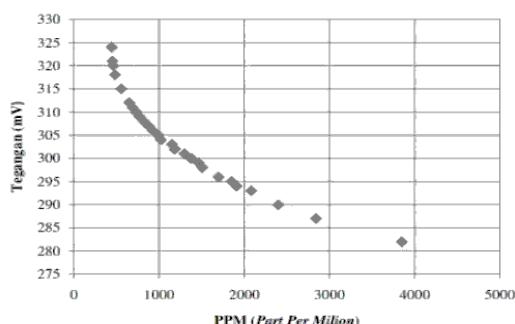
Pengujian pada lahan gambut dilakukan di lahan gambut kering berukuran 1

m^2 pada lima titik sampel dengan perlakuan setiap titik sebanyak enam kali perulangan.

Berikut ini tersaji data-data hasil pengukuran emisi karbondioksida pada lahan gambut kering. Sedangkan Tabel 2 menyajikan data hasil akuisisi kadar emisi karbondioksida pada lahan gambut kering dengan menggunakan perangkat yang telah dibangun dan dibandingkan dengan data kalibrasi sensor gas dari pabrik.

Tabel 1. Hasil pengukuran sampel pada lahan gambut kering

Sampel	Pengukuran titik sampel									
	1		2		3		4		5	
	Volt	Ppm	Volt	Ppm	Volt	Ppm	Volt	Ppm	Volt	Ppm
1	0,304	1021	0,303	1151	0,303	1151	0,3	1379	0,306	929
2	0,305	991	0,306	929	0,303	1185	0,302	1185	0,307	875
3	0,303	1151	0,302	1185	0,303	1185	0,299	1465	0,307	875
4	0,307	875	0,302	1185	0,303	1299	0,3	1379	0,309	773
5	0,304	1021	0,304	1021	0,303	1185	0,3	1379	0,305	991
6	0,304	1021	0,304	1021	0,303	1299	0,301	1299	0,309	773



Gambar 3. Kurva data hasil pengukuran emisi gambut kering

Mengacu pada data yang disajikan pada Tabel 2, dapat diketahui tingkat kesalahan hasil pengukuran emisi karbondioksida menggunakan perangkat yang telah dibangun sebesar 4,018%. Hal tersebut kemungkinan disebabkan oleh derau yang terjadi pada rangkaian penguatan operasional tak membalik yang menerima luaran dari sensor. Derau yang terjadi pada blok ADC juga dapat diduga menjadi

penyebab penyimpangan hasil pengukuran.

Tabel 2. Data perbandingan hasil akuisisi emisi dan data kalibrasi sensor

Tegangan (mV)	Konsentrasi karbondioksida (ppm)	
	Data sheet	Prototype
282	3864	3849
287	2933	2845
290	2455	2401
293	2012	2083
294	1923	1909
298	1577	1507
300	1365	1379
303	989	1151
305	907	991
307	831	875
309	761	773
312	667	651

315	586	557
-----	-----	-----

Tegangan (mV)	Konsentrasi karbondioksida (ppm)	
	Data sheet	Prototype
318	517	483
320	479	462
324	417	447

IV. SIMPULAN

Untuk mengatasi kekurangan metode ruang statis, penelitian ini merancang sebuah purwarupa metode ruang dinamis yang dikombinasikan dengan terus menerus mengumpulkan sampel udara kumulatif di dalam ruang tertutup. Untuk metode ruang dinamis, fluks emisi CO₂ rata-rata selama periode misalnya, 10 menit atau periode panjang misalnya, 24 jam dapat dengan mudah dicapai.

Dengan menganalisis dua sampel udara kumulatif yang dikumpulkan di *inlet* dan *outlet* selama periode tertentu. variasi harian emisi CO₂ dari gambut ditandai melalui pengukuran dengan rentang variasi masing-masing satu besaran. Hasil ini menunjukkan bahwa emisi CO₂ dari tanah gambut yang diukur dengan metode ruang statis klasik mungkin menunjukkan ketidakpastian yang besar karena beberapa pengukuran fluks intermiten.

Metode ruang dinamis yang dikembangkan dalam penelitian ini diharapkan dapat diterapkan dalam pengukuran fluks emisi CO₂ di lapangan serta emisi gas rumah kaca lainnya dari berbagai ekosistem, untuk mengurangi ketidakpastian dalam pengukuran menggunakan metode ruang statis yang tidak mencerminkan variasi temporal emisi gas rumah kaca.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih

kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Borneo Tarakan yang telah memberikan dukungan pendanaan melalui Hibah Penelitian Riset Kompetensi Dosen tahun anggaran 2022.

V. RUJUKAN

- [1] Z. Yu, J. Loisel, D.P. Brosseau, D.W. Beilman, S.J. Hunt. “*Global Peatland Dynamics Since The Last Glacial Maximum Geophys*”. *Res. Lett.* 37, L13402. 2010.
- [2] H. Joosten, A. Sirin, J. Couwenberg, J. Laine, P. Smith. “*The Role Of Peatlands In Climate Regulation Peatland Restoration and Ecosystem Services*”: *Science, Policy and Practice Ecological Reviews ed A Bonn, H Joosten, M Evans, R Stoneman and T Allott (Cambridge: Cambridge: University Press)*. 63–76. 2016.
- [3] D. Wilson, D. Blain, J. Couwenberg. “*Greenhouse Gas Emission Factors Associated With Rewetting Of Organic Soils*”. *Mires Peat*, 17, 4–28. 2016.
- [4] A. Hooijer, S. Page, J.G. Canadell, M. Silvius, J. Kwadijk, H. Wösten. J. Jauhiainen. “*Current And Future CO₂ Emissions From Drained Peatlands In Southeast Asia Biogeosciences*”. 7, 1505–14. 2010.
- [5] Jauhiainen, J. Page, S. E. Vasander, H. “*Greenhouse Gas Dynamics In Degraded And Restored Tropical Peatlands*”. *Mires Peat*. 17, 1–12. 2015.
- [6] Leifeld, J. Wüst-Galley, C. Page, S. “*Intact And Managed Peatland Soils As A Source And Sink Of Ghgs From 1850 To 2100*”. *Nat. Clim. Change.* 9, 945–7, 2019.
- [7] A. Barthelmes, J. Couwenberg. M. Risager, C. Tegetmeyer, H. Joosten. “*Copenhagen: Nordic Council of Ministers*”, 544. 2015.
- [8] P.E. Levy, A. Gray. “*Greenhouse Gas Balance Of A Semi-Natural Peatbog In Northern Scotland Environ*”. *Res. Lett.* 10, 094019. 2015.
- [9] T. Hiraishi, T. Krug, K. Tanabe. N. Srivastava, J. Baasansuren, M. Fukuda,

- T.G. Troxler. "Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories". *Wetlands*. 2014.
- [10] J. Leifeld, L. Menichetti. "The Under-appreciated Potential Of Peatlands In Global Climate Change Mitigation Strategies". *Nat. Commun.* 9, 1–8. 2018.
 - [11] J. Jaenicke, H. Wösten, A. Budiman, F. Siegert. "Planning Hydrological Restoration Of Peatlands In Indonesia To Mitigate Carbon Dioxide Emissions Mitigation Adapt. Strateg. Glob". *Change*. 15, 223–39. 2010.
 - [12] D. Wilson, C. Müller, F. Renou-Wilson. "Carbon Emissions And Removals From Irish Peatlands: Present Trends And Future Mitigation Measures Ir. Geogr". 46, 1–23. 2013.
 - [13] M. Abdalla, A. Hastings, J. Truu, M. Espenberg, Ü. Mander and P. Smith. "Emissions Of Methane From Northern Peatlands: A Review Of Management Impacts And Implications For Future Management Options Ecol". *Evol.* 6: 7080–7102. 2016.
 - [14] S. Nurzakiah, N. Wakhid, A. Hairani. "Carbon Dioxide Emission And Peat Hydrophobicity In Tidal Peatlands". *Journal of Soil Science and Agroclimatology*. 17, 71-77. 2020.
 - [15] H. Husnain, I.G.P. Wigena, A. Dariah, S. Marwanto, P. Setyanto, F. Agus. "CO₂ Emissions From Tropical Drained Peat In Sumatra Indonesia. Mitig Adapt. Strateg Glob Change". 19, 845–862. 2014.
 - [16] M.J. Jamili, B. Nugroho, B.B. Sumawinata, S. Anwar. *Journal of Nat Res EnvMan*. 11, 430-441. 2021.
 - [17] P. Aditya, M. Mulyadi. "Rancang Bangun Prototype Sistem Pemantauan Potensi Kebakaran Gambut dengan Multi Sensor". *J-Eltrik Vol. 2, No. 2*, 72-78. 2020.

Diagnosa Kerusakan *Rolling Bearing* Motor Induksi Menggunakan Sinyal Suara

Novan D. Ramadhan¹, Adistra Shanda Syahputri², Pandu Arafai Putra Subagya³

¹PT. Dayasa Aria Prima Gresik

²Program Studi Teknologi Laboratorium Medik Universitas Airlangga Surabaya

³Program Studi Teknologi Kedokteran Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Korespondensi: adistra.anda.syahputri-2023@vokasi.unair.ac.id

Received: Juli 2022 ; Accepted: September 2022 ; Published: November 2022

DOI: <https://doi.org/10.30649/je.v4i2.112>

Abstrak

Monitoring kondisi motor induksi perlu dilakukan secara kontinyu. Biaya perawatan akan berkurang secara signifikan jika kesehatan motor terus terpantau. Tujuan monitoring kondisi yaitu untuk deteksi kerusakan secara dini sehingga menghindari kerusakan parah, meningkatkan keandalan, dan menghindari terhentinya operasional motor. Kerusakan elemen motor yang sering terjadi adalah kerusakan *bearing*. Penelitian ini mengembangkan sistem monitoring kondisi *bearing* berdasarkan analisis sinyal suara dimana proses monitoring dilakukan secara realtime. Dengan pengembangan sistem secara realtime maka memberikan solusi yang efektif dan tidak menyita waktu. Sensor yang murah dan mudah didapat ditawarkan pada pengembangan penelitian ini. Sinyal suara yang ditangkap oleh microphone secara langsung diolah dengan sistem pengolahan sinyal dan analisis spectrum. Monitoring kondisi dilakukan pada elemen *bearing* yaitu inner race, outer race, dan ball *bearing*. Hasil penelitian mendapatkan sistem monitoring yang handal dan menghasilkan diagnosis yang akurat dengan presentase sebesar 98.3 -100%.

Kata kunci: Motor induksi, *bearing*, sinyal suara, fast fourier transform, spectrum, *real-time*

Abstract

The monitoring of induction motor conditions is carried out continuously to significantly reduce maintenance costs. This monitoring of motor condition aims to quickly detect damages, toward avoiding severe destruction, increasing reliability, and averting operation cessation. From this context, the frequently occurring element destruction is the bearing damage. Therefore, this study aims to develop a bearing condition monitoring system through sound signal analysis, with the diagnostic processes carried out in real time. Since the development of a real-time system produces an effective solution that is not time-consuming, this analysis is then provided with cheap and easily available sensors. In this analysis, the sound frequency captured by the microphone was directly processed through a signal processing system and spectrum analysis. This indicated that monitoring was carried out on the conditions of some elements, namely inner, outer, and ball bearings. Based on the results, a reliable monitoring system with an accurate diagnosis level of 98.3-100% was determined.

Key words: induction motor, *bearing*, sound signal, fast fourier transform, spectrum, *real-time*

I. PENDAHULUAN

Motor induksi adalah peralatan elektromekanik yang digunakan untuk mengubah tenaga listrik menjadi tenaga mekanik. Motor induksi memiliki peranan penting dalam dunia industri yang berfungsi sebagai penggerak utama [1]. Jenis motor ini merupakan type yang paling banyak digunakan. Hal ini dikarenakan motor induksi memiliki kelebihan yaitu konstruksi sangat kuat, sederhana, harganya relatif murah, tingkat keandalannya tinggi, dan biaya pemeliharaan yang rendah [2].

Penggunaan motor induksi dalam jangka waktu lama akan mengalami kerusakan [3]. Kerusakan pada motor induksi yang sering ditemukan adalah *mechanical unbalance*, *bearing* dan *rotor*. Kerusakan *bearing* disebabkan karena kurangnya pelumasan, tekanan mekanis pada *ball bearing*, kerusakan *inner race*, *outer race*, dan korosi [4]. Berdasarkan hasil survei oleh *Electric Power Research Institute* (EPRI) dan *Institute of Electrical and Electronics Engineers Industry Applications Society* (IEEE-IAS) dari beberapa motor diperoleh bahwa kerusakan terbesar terletak pada *bearing* [5].

Sistem monitoring kondisi *bearing* dapat didiagnosis dengan dua metode yaitu teknik invasif dan non-invasif. Teknik invasif yaitu menggunakan sinyal arus yang dikenal dengan istilah Motor current signature analysis (MCSA), sedangkan teknik non-invasif dilakukan berdasarkan data termal, getaran dan suara [6].

Diagnosis sinyal untuk monitoring kondisi mesin dapat dilakukan dengan Transformasi Wafelet, Fast Fourier Transform (FFT), Transformasi Hilbert, dan Machine Learning [7]. FFT merupakan algoritma pemrosesan sinyal yang direkomendasikan karena aplikasinya sederhana, cocok untuk monitoring elemen mekanik dan memiliki akurasi tinggi [8]. Spectrum sinyal yang diolah oleh FFT dapat

memberikan informasi lokasi kerusakan elemen motor, sedangkan jika menggunakan Transformasi Wafelet tidak dapat menentukan dimanakah bagian yang mengalami kerusakan [9].

Monitoring kondisi motor dengan pengamatan lonjakan frekuensi *bearing* melalui software matlab merupakan metode yang cukup membutuhkan waktu lama [10]. Oleh karena itu diperlukan pengembangan diagnosis kondisi motor secara realtime untuk memangkas waktu pengajaran [11]. Monitoring *bearing* secara realtime berdasarkan sinyal getaran dengan diagnosis time domain analysis menawarkan metode yang efisien [12]. Proses secara realtime dikembangkan berdasarkan sinyal getaran dan LabVIEW software, sehingga nilai amplitude dari setiap harmonic dapat ditampilkan secara langsung [13].

Effisiensi waktu yang ditawarkan oleh monitoring secara realtime merupakan pengembangan sistem monitoring yang menguntungkan. Penelitian ini mendiskusikan monitoring yang murah dan diagnosis secara realtime pada outer race, inner race, dan ball *bearing*. Sinyal suara merupakan teknik monitoring yang dipilih karena teknik ini tidak memerlukan kontak dengan elemen *bearing*. FFT diterapkan untuk mengolah sinyal suara dan diagnosis *bearing* menggunakan analisis spectrum. Software phyton dan miniPC rasphberry pi dikembangkan untuk pemprosesan analysis spectrum secara realtime. Penelitian mendapatkan hasil presentase deteksi kerusakan outer race sebesar 100%, inner race sebesar 98.3%, dan ball *bearing* sebesar 100%.

II. METODE PENELITIAN

Kerusakan motor induksi dalam dunia industri tidak dapat diprediksi. Kerusakan yang tidak terduga menyebabkan berhentinya proses produksi dan perlu

dicegah dengan mendeteksi kerusakan secara dini. Motor induksi terdiri dari beberapa bagian mekanik dan listrik, seperti rangka motor, belitan stator, sangkar rotor, *bearing*, kipas, poros rotor dan lain-lain. Meskipun motor induksi dirancang dengan kontruksi yang kuat, motor induksi dihadapkan oleh situasi eksternal seperti, tegangan suplai yang tidak stabil, sumber arus suplai yang tidak stabil, dan kelebihan beban. Karena faktor situasi eksternal tersebut, kerusakan pada elemen motor induksi tidak terhindarkan. Jenis kerusakan pada motor induksi yaitu kerusakan rotor, stator, *bearing*, dan eksentrisitas celah udara [14].

Ketika motor beroperasi pada kondisi *bearing* yang rusak maka menghasilkan impuls periodic pada frekuensi *bearing* [15]. Lonjakan tersebut menandakan adanya ketidaknormalan elemen *bearing*. Frekuensi ini ditentukan oleh kinematika, geometri, dan kecepatan putar *bearing*. Frekuensi elemen *bearing* motor induksi memiliki frekuensi yang berbeda. Frekuensi untuk setiap bagian dari *bearing* dapat dilihat pada persamaan (1)-(4) [16].

Outer race bearing

$$f_o = \frac{N_b}{2} \cdot nm \cdot \left(1 - \frac{db \cdot \cos \alpha}{D_p}\right) \quad (1)$$

Inner race bearing

$$f_i = \frac{N_b}{2} \cdot nm \cdot \left(1 + \frac{db \cdot \cos \alpha}{D_p}\right) \quad (2)$$

Ball bearing

$$f_b = \frac{D_p}{2db} \cdot nm \cdot \left(1 - \frac{db \cdot \cos \alpha}{D_p}\right)^2 \quad (3)$$

Cage bearing

$$f_c = \frac{1}{2} \cdot nm \cdot \left(1 - \frac{db \cdot \cos \alpha}{D_p}\right) \quad (4)$$

Dimana N_b adalah jumlah ball, nm adalah kecepatan putar dalam rev/sec, db adalah diameter ball, D_p adalah diameter pitch, dan α adalah sudut kontak bola.

Secara umum monitoring kondisi mesin terdiri dari tiga langkah yaitu pengumpulan data yang relevan dari mesin (arus, getaran, suara, atau termal). Langkah kedua adalah pengolahan dan analisis data, dan ketiga adalah pengambilan keputusan diagnostic dan prognostic. FFT merupakan suatu algoritma perhitungan cepat yang digunakan untuk mentransformasikan sinyal domain waktu ke sinyal domain frekuensi.

Prinsip kerja FFT adalah membagi sinyal hasil penyamplingan menjadi beberapa bagian yang kemudian masing-masing bagian diselesaikan dengan algoritma yang sama dan hasilnya dikumpulkan kembali. Diagnosis kerusakan elemen motor dapat dideteksi dengan bantuan FFT [17].

Monitoring kondisi *bearing* pada penelitian ini menggunakan motor induksi tiga fasa yang mempunyai spesifikasi kapasitas daya 1,5 KW, tegangan 220/380 V, arus 6,36/3,68 A, dan Frekuensi 50 Hz. Gambar 1 menunjukkan sistem monitoring *bearing* yang digunakan untuk mengidentifikasi kondisi *bearing*. Rekondisi *bearing* merupakan kerusakan buatan sebagai kondisi uji. Rekondisi *bearing* uji berupa kecacatan retak, berlubang dan korosi.

Sistem monitoring kondisi *bearing* secara realtime memerlukan beberapa alat yaitu motor induksi 3 fasa, raspberry, lcd, dan microphone. Data suara dari motor sehat digunakan sebagai sinyal referensi. Pengolahan sinyal suara dan diagnosis kondisi *bearing* terprogram pada rasphberry dengan software phyton. Hasil pengolahan sinyal secara realtime akan ditampilkan pada LCD, berupa grafik spectrum dan nilai amplitude dari setiap frekuensi *bearing*.

Bearing terdiri dari empat bagian utama yaitu *outer race*, *inner race*, *ball* dan *cage*. Setiap bagian *bearing* memiliki fungsi masing-masing yang berperan penting agar motor dapat bergerak dengan bebas. Spesifikasi *bearing* yang digunakan

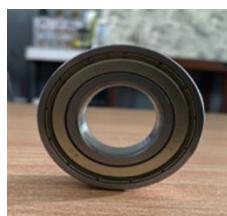
pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 1. Konfiguasi sistem monitoring kerusakan bearing

Gambar 2 menunjukkan bearing kondisi sehat yang digunakan untuk operasional motor normal sebagai referensi. Pada Gambar 3 menunjukkan rekonstruksi bearing uji dengan memberikan kecacatan pada outer, inner dan ball. Outer dan inner race diberi tiga variasi kerusakan yaitu retak, berlubang, korosi.

Rekondisi bearing retak dan korosi menggambarkan kondisi bearing dengan kerusakan ringan. Sedangkan kerusakan bearing berlubang merupakan gambaran kondisi bearing rusak parah, meskipun dalam kenyataan bearing dengan kondisi berlubang sulit ditemukan. Pada ball bearing diberi dua variasi kerusakan yaitu ball pecah 1, ball pecah 2.



Gambar 2. Bearing kondisi sehat



Gambar 3. Rekondisi bearing uji

Tabel 1. Spesifikasi bearing

Deskripsi	Spesifikasi
<i>Brand</i>	CSC
<i>Type</i>	6205 2R
<i>Inside Diameter (Inner)</i>	25 mm
<i>Number of Balls</i>	9 pieces
<i>Brand</i>	CSC
<i>Type</i>	6205 2R
<i>Ball Bearing Diameter</i>	7.25 mm
<i>Outer Diameter (Outer)</i>	52 mm

Diagnosis kondisi bearing membutuhkan algoritma FFT untuk mengubah sinyal dari microphone menjadi spectrum frekuensi. Diagnosis kondisi bearing dilakukan pada sinyal suara domain frekuensi. Jika terjadi lonjakan pada frekuensi bearing maka menandakan adanya ketidaknormalan elemen motor.

Berdasarkan spesifikasi bearing pada Tabel 1 dengan parameter $N_b = 9$, $db = 7.25 \text{ mm}$, $\cos \alpha = 1$, kecepatan rotor 1498.1 rpm (tachometer) maka diameter pitch adalah sebagai berikut :

$$D_p = \frac{52 \text{ mm} + 25 \text{ mm}}{2} = 38.5 \text{ mm}$$

$$nm = \frac{1498.1}{60} = 24.9683 \text{ rev/sec}$$

Frekuensi outer race bearing adalah :

$$f_o = \frac{9}{2} \times 24.9683 \times \left(1 - \frac{7.25 \times 1}{38.5}\right) = 91.1 \text{ Hz}$$

dengan mengaplikasikan rumus (2) maka frekuensi inner race bearing :

$$f_i = \frac{9}{2} \times 24.9683 \times \left(1 + \frac{7.25 \times 1}{38.5}\right) = 133.5 \text{ Hz}$$

sedangkan frekuensi ball bearing :

$$f_b = \frac{38.5}{14.5} \times 24.9683 \times \left(1 - \frac{7.25 \times 1}{38.5}\right)^2 \\ = 43.7 \text{ Hz}$$

Diagnosis kondisi *bearing* dilakukan sampai frekuensi harmonik ke-8. Sebenarnya pengamatan dapat dilakukan pada frekuensi fundamental, namun untuk menyakinkan hasil monitoring maka pada penelitian ini pengamatan frekuensi dilakukan sampai ke komponen frekuensi harmonic ke-8 pada setiap kasusnya. Tabel 2 menunjukkan frekuensi elemen *bearing*. Nilai frekuensi karakteristik *bearing* ini akan digunakan lebih lanjut untuk menentukan kondisi elemen *bearing*.

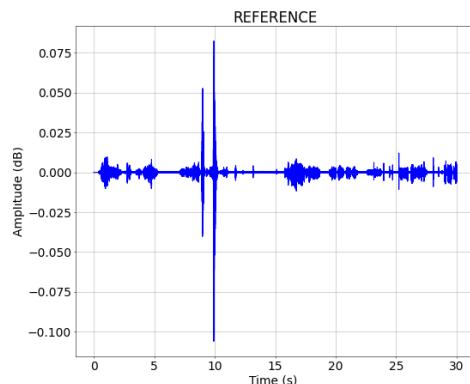
Tabel 2. Bearing frequency

Frekuensi Bearing (Hz)			
Frequency harmonic	Outer race (f_o)	Inner race (f_i)	Ball (f_b)
f_1	91.3	133.6	43.7
f_2	182.7	267.1	87.4
f_3	274.0	400.7	131.1
f_4	365.3	534.3	174.8
f_5	456.7	667.8	218.5
f_6	548.0	801.4	262.3
f_7	639.3	935.0	305.9
f_8	730.7	1068.5	349.6

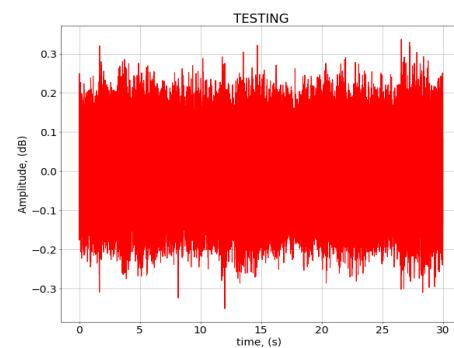
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan mendiskusikan karakteristik sinyal suara untuk monitoring kondisi *bearing*. Monitoring kondisi *bearing* secara realtime membutuhkan suara motor sehat sebagai referensi dimana suara tersebut dijadikan database yang tersimpan di raspberry. Sinyal yang ditangkap oleh microphone secara *realtime* akan diolah pada miniPC raspberry. Dimana pada raspberry telah tertanam program pengolahan sinyal dan analisis spectrum untuk memberikan informasi kondisi *bearing*. Data suara direcord selama 30 detik untuk mendapatkan informasi komponen harmonic elemen *bearing*. Tampilan hasil diagnosis berupa informasi karakteristik spectrum akan ditampilkan pada LCD

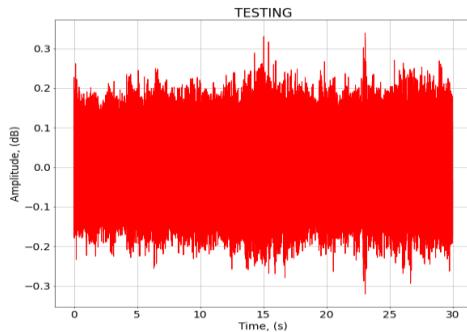
Sinyal suara yang ditangkap mirkrophone merupakan sinyal dalam domain waktu. Sinyal suara motor sehat sebagai referensi dalam domain waktu bisa dilihat pada Gambar 4, sedangkan sinyal pengujian kondisi *outer race* dan *inner race* kondisi rusak ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6. Sinyal suara kondisi motor sehat menunjukkan rata-rata amplitude berada di sekitar 0.0010 dB dan saat terjadi kerusakan elemen *bearing* akan mengalami kenaikan amplitude. Saat motor beroperasi dengan kondisi outer retak memiliki amplitude rata-rata sebesar 0.24 dan inner korosi amplitude rata-rata sebesar 0.22. Disaat kondisi *bearing* mengalami kerusakan akan menimbulkan suara yang lebih kasar. Dari sinyal suara tersebut tidak dapat mengidentifikasi lokasi kerusakan elemen motor.



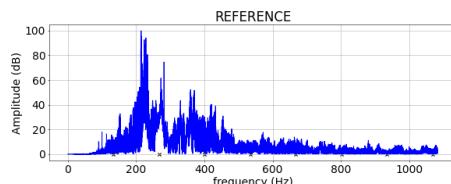
Gambar 4. Sinyal suara motor sehat sebagai referensi



Gambar 5. Sinyal suara motor kondisi *outer race bearing* retak



Gambar 6. Sinyal suara motor kondisi *inner race bearing* korosi



Gambar 7. Spectrum suara motor kondisi sehat sebagai referensi

```
OUTER RACE BEARING
frequency reference = 91.3 Hz with amplitude 1.0
frequency reference = 182.7 Hz with amplitude 5.0
frequency reference = 274.0 Hz with amplitude 42.0
frequency reference = 365.3 Hz with amplitude 24.0
frequency reference = 456.7 Hz with amplitude 20.0
frequency reference = 548.0 Hz with amplitude 10.0
frequency reference = 639.3 Hz with amplitude 2.0
frequency reference = 730.7 Hz with amplitude 3.0
[0.00086975]
0.0008697509765625
[24000.]
24000.0
Bearing Outer healthy
```

(a)

```
INNER RACE BEARING
frequency reference = 133.6 Hz with amplitude 4.0
frequency reference = 267.1 Hz with amplitude 27.0
frequency reference = 400.7 Hz with amplitude 9.0
frequency reference = 534.3 Hz with amplitude 3.0
frequency reference = 667.8 Hz with amplitude 5.0
frequency reference = 801.4 Hz with amplitude 1.0
frequency reference = 935.0 Hz with amplitude 2.0
frequency reference = 1068.5 Hz with amplitude 2.0
[0.00086975]
0.0008697509765625
[24000.]
24000.0
Bearing Inner healthy
```

(b)

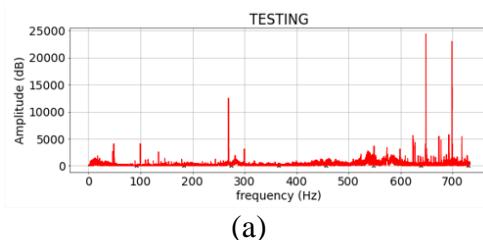
```
BALL BEARING
frequency reference = 43.7 Hz with amplitude 0.0
frequency reference = 87.4 Hz with amplitude 1.0
frequency reference = 131.1 Hz with amplitude 5.0
frequency reference = 174.8 Hz with amplitude 5.0
frequency reference = 218.5 Hz with amplitude 39.0
frequency reference = 262.2 Hz with amplitude 28.0
frequency reference = 305.9 Hz with amplitude 10.0
frequency reference = 349.6 Hz with amplitude 22.0
[0.00086975]
0.0008697509765625
[24000.]
24000.0
Ball Bearing healthy
```

(c)

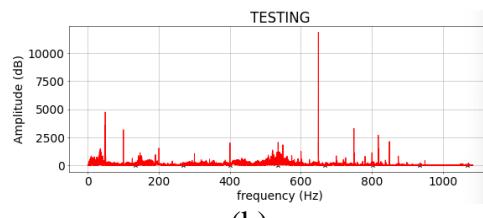
Gambar 8. Amplitude referensi, (a) frekuensi *outer race*, (b) frekuensi *inner race*, (c) frekuensi *ball bearing*

Langkah monitoring kondisi mesin selanjutnya adalah pengolahan dan analisis data. Setiap frekuensi harmonic elemen *bearing* yang disajikan pada Tabel 2 digunakan sebagai acuan analisis spectrum. Nilai amplitude pengujian akan dibandingkan dengan nilai amplitude referensi. Gambar 7 merupakan spectrum suara motor kondisi sehat sebagai referensi. Nilai amplitude spectrum suara ditampilkan pada Gambar 8.

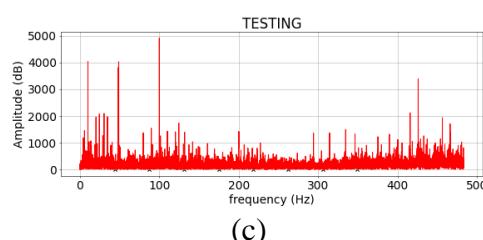
Gambar 8(a) merupakan spectrum frekuensi referensi untuk diagnosis kondisi outer race *bearing*, (b) inner race *bearing*, dan (c) ball *bearing*. Setelah mendapatkan nilai amplitude referensi disetiap komponen frekuensi elemen *bearing*, langkah selanjutnya adalah menguji sistem monitoring yang telah dirancang dengan memperasikan motor kondisi *bearing* yang telah direkondisi.



(a)



(b)



(c)

Gambar 9. Spectrum suara untuk diagnosis elemen bearing, (a) outer race, (b) inner race, (c) ball bearing

Gambar 9 merupakan spectrum suara pengoperasian *bearing* uji yang telah direkondisi (a) Spectrum suara kondisi outer kondisi retak, (b) kondisi inner kondisi korosi dan (c) kondisi ball *bearing* pecah. Nilai amplitude referensi dan nilai amplitude pengujian akan dibandingkan untuk menentukan diagnosis kerusakan *bearing*.

Jika nilai amplitude pengujian lebih besar daripada nilai amplitude referensi, maka dapat dinyatakan *bearing* dalam kondisi rusak. Sedangkan jika nilai amplitude pengujian lebih kecil dari nilai amplitude referensi maka dapat dikatakan bahwa *bearing* dalam kondisi sehat dengan kata lain hasil diagnosis tidak valid karena tidak sesuai dengan kondisi sebenarnya. Sebagai contoh pengujian outer race pada frekuensi fundamental nilai amplitude mencapai 158 dB sedangkan amplitude referensi 1 dB, dari analisis spectrum dinyatakan bahwa outer race *bearing* mengalami kerusakan.

Pernyataan ini adalah valid karena kondisi pengujian pada kondisi outer race *bearing* retak. Dengan cara yang sama analisis spectrum dilakukan pada seluruh frekuensi harmonic elemen *bearing*. Gambar 10 merupakan diagnosis kerusakan pada masing-masing elemen *bearing*.

```
OUTER RACE BEARING
frequency reference = 91.3 Hz with amplitude 1.0
frequency reference = 182.7 Hz with amplitude 5.0
frequency reference = 274.0 Hz with amplitude 42.0
frequency reference = 365.3 Hz with amplitude 24.0
frequency reference = 456.7 Hz with amplitude 21.0
frequency reference = 489.0 Hz with amplitude 20.0
frequency reference = 639.3 Hz with amplitude 2.0
frequency reference = 730.7 Hz with amplitude 3.0
test frequency = 91.3 Hz with amplitude 54.0
test frequency = 182.7 Hz with amplitude 347.0
test frequency = 274.0 Hz with amplitude 599.0
test frequency = 365.3 Hz with amplitude 56.0
test frequency = 456.7 Hz with amplitude 596.0
test frequency = 548.0 Hz with amplitude 1199.0
test frequency = 639.3 Hz with amplitude 509.0
test frequency = 730.7 Hz with amplitude 527.0
[0.00086975]
0.0008697509765625
[1.374404911
1.3744049072265625
Bearing Outer broken
```

(a)

```
INNER RACE BEARING
frequency reference = 133.6 Hz with amplitude 4.0
frequency reference = 267.1 Hz with amplitude 27.0
frequency reference = 400.7 Hz with amplitude 14.0
frequency reference = 534.3 Hz with amplitude 184.0
test frequency = 667.8 Hz with amplitude 37.0
test frequency = 801.4 Hz with amplitude 84.0
test frequency = 935.0 Hz with amplitude 26.0
frequency reference = 1068.5 Hz with amplitude 2.0
test frequency = 133.6 Hz with amplitude 11.0
test frequency = 267.1 Hz with amplitude 67.0
test frequency = 400.7 Hz with amplitude 166.0
test frequency = 534.3 Hz with amplitude 184.0
test frequency = 667.8 Hz with amplitude 37.0
test frequency = 801.4 Hz with amplitude 84.0
test frequency = 935.0 Hz with amplitude 26.0
frequency reference = 1068.5 Hz with amplitude 10.0
[0.00086975]
0.0008697509765625
[3.03153992]
3.0315399169921875
Bearing Inner broken
```

(b)

```
BALL BEARING
frequency reference = 43.7 Hz with amplitude 0.0
frequency reference = 87.4 Hz with amplitude 1.0
frequency reference = 131.1 Hz with amplitude 5.0
frequency reference = 174.8 Hz with amplitude 5.0
frequency reference = 218.5 Hz with amplitude 5.0
frequency reference = 262.2 Hz with amplitude 28.0
frequency reference = 305.9 Hz with amplitude 10.0
frequency reference = 349.6 Hz with amplitude 22.0
test frequency = 43.7 Hz with amplitude 287.0
test frequency = 87.4 Hz with amplitude 42.0
test frequency = 131.1 Hz with amplitude 45.0
test frequency = 174.8 Hz with amplitude 103.0
test frequency = 218.5 Hz with amplitude 274.0
test frequency = 262.2 Hz with amplitude 198.0
test frequency = 305.9 Hz with amplitude 57.0
test frequency = 349.6 Hz with amplitude 58.0
[0.00086975]
0.0008697509765625
[5.85148621]
5.8514862060546875
Ball Bearing broken
```

(c)

Gambar 10. Perbandingan amplitude diagnosis bearing kondisi mengalami kerusakan, (a) Diagnosis outer race, (b) Diagnosis inner race, (c) Diagnosis ball bearing

Untuk mendapatkan hasil yang meyakinkan, penelitian ini melakukan pengujian 5 kali pada setiap kasus yang sama. Untuk memberikan gambaran tingkat kerusakan elemen *bearing* maka dibuatlah tingkatan variasi rekondisi *bearing*. Tiga tingkatan rekondisi outer race yaitu retak, berlubang, dan korosi. Sistem monitoring dan diagnosis kondisi outer race *bearing* dengan pengujian tiga tingkat rekondisi menghasilkan akurasi monitoring sebesar 100%.

Rekondisi inner race *bearing* juga menggunakan tiga tingkatan kondisi kerusakan yaitu inner retak, berlubang, dan korosi. Hasil monitoring dari pendekatan yang ditawarkan mendapatkan persentase akurasi 100% pada pengujian inner retak, 100% pada pengujian inner berlubang dan 95% pada pengujian inner korosi. Pengujian pada pengoperasian inner race kondisi korosi mendapatkan persentase 95% karena pengujian ke-3 dan ke-4 terdapat satu titik frekuensi harmonic yang menyatakan sehat.

Sedangkan pengujian monitoring kondisi ball *bearing* menggunakan 2 rekondisi yaitu ball *bearing* pecah satu dan pecah dua. Dari pengujian didapatkan persentase akurasi 100% pada kedua tingkat rekondisi. Total rata-rata persentase akurasi monitoring masing-masing element yaitu outer race sebesar 100%, inner race

sebesar 98.3%, dan ball *bearing* sebesar 100%. Akurasi monitoring dengan biaya rendah dan diagnosis secara realtime dengan pendekatan yang ditawarkan memberikan akurasi yang tinggi sehingga pengembangan sistem monitoring kondisi motor ini dapat digunakan sebagai alternatif yang menjanjikan.

Tabel 3. Akurasi monitoring *bearing*

test	Akurasi monitoring (%)							
	Outer race			Inner race			Ball	
	Retak	Lubang	Korosi	Retak	Lubang	Korosi	Pecah 1	Pecah 2
1	100	100	100	100	100	100	100	100
2	100	100	100	100	100	87.5	100	100
3	100	100	100	100	100	100	100	100
4	100	100	100	100	100	87,5	100	100
5	100	100	100	100	100	100	100	100

IV. SIMPULAN

Penelitian ini membahas tentang monitoring kondisi bearing secara realtime berdasarkan sinyal suara dengan pengolahan sinyal menggunakan FFT. Penelitian secara realtime lebih memudahkan karena bisa langsung mengetahui hasil monitoring dengan dilengkapi analisis spectrum yaitu nilai amplitude dari setiap frekuensi *harmonic bearing*. Pada penelitian ini membuktikan bahwa sistem monitoring kondisi bearing secara *realtime* dapat mendeteksi kerusakan sesuai dengan kondisi yang sebenarnya.

Sistem monitoring dapat mendiagnosa kondisi bearing dengan kerusakan ringan (korosi) bahkan kerusakan parah (berlubang dan pecah). Persentase akurasi monitoring kondisi *outer race bearing* sebesar 100%, *inner race bearing* sebesar 98.3% dan *ball bearing* sebesar 100%. Signifikansi hasil penelitian adalah monitoring dapat dilakukan dengan cara yang sederhana, murah, dan tidak memerlukan waktu yang lama, namun akurasi moni-

toring sangat menjanjikan. Pengembangan monitoring kondisi bearing yang ditarwarkan sangat penting adanya sebagai tool perawatan tepat waktu. Pengembangan lanjutan disarankan untuk monitoring pada elemen motor lainnya misalnya rotor dan stator motor.

V. RUJUKAN

- [1] X. Liang, M.Z. Ali and H. Zhang, "Induction Motors Fault Diagnosis Using Finite Element Method: A Review," in *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 56, no. 2, pp. 1205-1217, March-April 2020.
- [2] D.F. de Souza, F.A.M. Salotti, I.L. Sauer, H. Tatizawa, A.T.de Almeida, & A.G. Kanashiro. "A Performance Evaluation of Three-Phase Induction Electric Motors between 1945 and 2020. *Energies*, 15(6), 1–31. 2022. doi: 10.3390/en15062002.
- [3] I.D.P. Karyatanti, R.S. Zulkifli, A. Noersena, F.R. Purnomo, B.Y. Dewantara & A.Wijayanto . "Identification Of Ball Bearing Damage On Induction Motors Through Sound Signal Analysis". *Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 15(1), 33–38. 2022.
- [4] Diah, I., Karyatanti, P., Noersena, A., Purnomo, F. R., Zulkifli, R. S., & Wijayanto, A. "Analysis of Outer Race Bearing Damage by Calculation of Sound Signal Frequency Based on the FFT Method". 28–39. 2023.
- [5] I.P.K. Diah, B.Y. Dewantara, D. Rahmatullah, I. Winarno, & C. Hidayanto. "Decomposition Wavelet Transform As Identification Of Outer Race Bearing Damage Through Stator Flow Analysis In Induction Motor". *International Conference on Information and Communications Technology, ICOIACT 2019*, July, 733–737. 2019. doi:10.1109/ICOIACT46704.2019.8938512.
- [6] T.A. Dhomad, A.A. Jaber. "Bearing Fault Diagnosis Using Motor Current

- Signature Analysis And The Artificial Neural Network". International Journal On Advanced Science, Engineering And Information Technology, 10 (1), 70–79.* 2020. doi: 10.18517/ijaseit.10.1.10629
- [7] V. Barai, S.M. Ramteke, V. Dhanal-kotwar, Y. Nagmote, S. Shende, & D. Deshmukh. "Bearing Fault Diagnosis Using Signal Processing And Machine Learning Techniques": A review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1259 (1), 012034.* 2022. doi: 10.1088/1757899x/12-59/1/012034.
- [8] H. Nakamura, K. Asano, S. Usuda, & Y. Mizuno. "A Diagnosis Method Of Bearing And Stator Fault in Motor Using Rotating Sound Based on Deep Learning". *Energies, 14(5), 1319.* 2021. doi: 10.3390/en14051319
- [9] C.Y. Lee, & Y.H. Cheng. "Motor Fault Detection Using Wavelet Transform And Improved Pso-Bp Neural Network". *Processes, 8(10), 1–16.* 2020. doi: 10.3390/pr8101322
- [10] M. Jalayer, A. Kaboli, C. Orsenigo, & C. Vercellis. "Fault Detection and Diagnosis with Imbalanced and Noisy Data: A Hybrid Framework for Rotating Machinery". *Machines, 10(4), 1–22.* 2022. doi: 10.3390/machi-nes10040237
- [11] G. Wu, T. Yan, G. Yang, H. Chai, & C. Cao. "A Review on Rolling Bearing Fault Signal Detection Methods Based on Different Sensors". *Sensors, 22 (21).* 2022. doi: 10.3390/-s22218330
- [12] P. Ewert, C.T. Kowalski and T. Orlowska-Kowalska."Low Cost Monitoring And Diagnosis System For Rolling Bearing Faults Of The Induction Motor Based On Neural Network Approach". *Electronics, 9(9), p.1334,* 2020. doi: 10.3390/electronics9091334
- [13] S. Jawad, A. Jaber. "Bearings Health Monitoring Based on Frequency-Domain Vibration Signals Analysis". *Engineering and Technology Journal, 41(1),86–95.* 2022. doi: 10.30684/etj.-2022.131581.1043
- [14] T.G. Calva, D.M Sotelo, V.F Cavero, R. R Troncoso. "Early Detection of Faults in Induction Motors A Review". *Energies, 15 (21), 7855.* 2022.
- doi : 10.3390/en15217855
- [15] S. Muthukumaran, A. Rammohan, S. Sekar, M. Maiti, & K. Bingi. "Bearing Fault Detection In Induction Motors Using Line Currents". *ECTI Transactions on Electrical Engineering, Electronics, and Communications, 19 (2), 209–219.* 2021. doi: 10.3-7936/ECTI-EEC.2021192.244163
- [16] N.W. Nirwan, H.B. Ramani. "Condition Monitoring And Fault Detection In Roller Bearing Used In Rolling Mill By Acoustic Emission And Vibration Analysis". *Materials Today: Proceedings, 51(xxxx), 344–354.* 2021. doi: 10.1016/j.matpr.2021.05.447
- [17] D. Goyal, C. Mongia, S. Sehgal. "Applications Of Digital Signal Processing In Monitoring Machining Processes And Rotary Components: A Review". *IEEE Sensors Journal, 21(7), pp.8780-8804.* 2021. doi: 10.1109/-JSEN.2021.3050718

Deteksi Kerusakan *Bearing* secara *Non-Invasive* pada Kondisi Kecepatan Bervariasi

Fajar Agung Priambodo¹, Pandu Arafi Putra Subagya², Adistra Shanda Syahputri³

¹PT. Prakarsa Lestari Jaya Surabaya

²Program Studi Teknologi Kedokteran Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

³Program Studi Teknologi Laboratorium Medik Universitas Airlangga Surabaya

Korespondensi: pandurafi29@gmail.com

Received: Juli 2022 ; Accepted: September 2022 ; Published: November 2022

DOI: <https://doi.org/10.30649/je.v4i2.114>

Abstrak

Pemakaian motor secara terus menerus akan menyebabkan kerusakan. Deteksi kerusakan penting dilakukan untuk menghindari kerusakan parah, menekan biaya perawatan dan menjaga keandalan motor. Penggunaan motor tidak bisa lepas dari perubahan kecepatan karena disesuaikan dengan kebutuhan pengguna. Pada saat motor beroperasi akan menghasilkan suara yang menggambarkan kondisi kesehatannya. Penelitian ini bertujuan untuk pengembangan system deteksi kerusakan bearing berdasarkan sinyal suara dengan variasi kecepatan. Pengolahan dan analisis data menggunakan pendekatan analisis spectrum. Perubahan kecepatan akan berpengaruh pada frekuensi putaran sehingga akan berpengaruh kepada diagnosis kondisi elemen motor. Dengan mengamati lonjakan amplitude pada spectrum suara maka akan diketahui kondisi kesehatan motor. Pendekatan *Analysis of Variance* (ANOVA) digunakan sebagai pendekatan untuk menentukan pengaruh variable speed terhadap akurasi deteksi. Untuk mempercepat proses diagnosis pengembangan system dilakukan secara real-time menggunakan mini PC raspberry sehingga hasil diagnosis dapat dilakukan dengan cepat tanpa membutuhkan waktu lama. Signifikansi dari penelitian adalah sistem deteksi kerusakan yang dibahas memberikan solusi monitoring kondisi bearing yang sederhana, murah, cepat dan akurasi tinggi sehingga tindakan perawatan motor dilakukan tepat waktu. Hasil penelitian mencapai akurasi diagnosis sebesar 93.75%.

Kata kunci: *Fast Fourier Transform*, Motor Induksi, *Outer Race Bearing*, Sinyal Suara

Abstract

The continuous use of motors is an operational process that often causes damage. This process commonly encompass fault detection, which is very important in avoiding serious destruction, reducing maintenance costs, and maintaining system reliability. From this context, motor use is inseparable from the change in speed, due to being adjusted to the users' needs. Regarding this detection process, a sound describing the health condition of the motor is often produced during operation. Therefore, this study aims to develop a bearing fault detection system, based on sound signals with speed variations. Data processing and analysis were carried out by using a spectrum analysis approach. Based on the results, speed changes affected the frequency of rotation, which then influenced the diagnosis of the motor elements condition. By observing the amplitude spikes in the sound spectrum, the health

conditions of the motor were known. The Analysis of Variance (ANOVA) approach was also used to determine the various speed effects on detection accuracy. To speed up the diagnosis process, system development was carried out in real-time, using a Raspberry MiniPC. In this case, the diagnostic outputs were rapidly carried out. Regarding the significance of the study, the fault detection system provided a simple, inexpensive, fast, as well as high-accuracy bearing condition monitoring solution, while rapidly performing motor maintenance actions. The results showed that a diagnostic accuracy of 93.75% was achieved.

Key words: Fast Fourier Transform, Induction Motor, Outer Race Bearing, Sound Signal

I. PENDAHULUAN

Bearing adalah komponen yang berperan penting membantu motor berputar. Kerusakan bearing merupakan kerusakan yang sering terjadi mencapai lebih dari 40% dibandingkan elemen motor lainnya [1]. Kerusakan bearing menyebabkan kebisingan, panas berlebih dan terhentinya operasional motor [2]. Untuk menghindari dampak merugikan tersebut maka diperlukan deteksi kerusakan bearing agar tindakan perawatan dapat dilakukan tepat waktu. Deteksi kerusakan secara dini bermanfaat untuk menjaga keandalan dan effisiensi, menekan biaya perawatan, menghindari kerusakan parah, bahkan mencegah terhentinya operasional secara mendadak [3].

Sinyal yang dihasilkan oleh operasional motor memberikan informasi kondisi kesehatannya. Deteksi kerusakan dapat dilakukan dengan teknik *invasive* dan *non-invasive*. Teknik *non-invasive* merupakan deteksi kerusakan tanpa memerlukan kontak langsung dengan elemen motor [4][5]. Geteran, *thermal*, dan suara merupakan data sinyal yang dapat digunakan sebagai dasar deteksi kerusakan, dimana teknik tersebut termasuk teknik *non-invasive* [6]. Diagnosis kerusakan motor untuk kerusakan mekanis banyak dilakukan dengan analisa data getaran dan suara. Namun analisis melalui getaran untuk mengasilkan akurasi yang tinggi membutuhkan akselerometer berpenampang kecil yang berharga mahal

[7]. Alternatif lain yang cukup menjikan dan memerlukan biaya yang relative murah adalah diagnosis kerusakan berdasarkan sinyal suara. Kekurangan dari metode ini adalah sinyal suara mudah *overlapping* dengan sinyal suara lain sehingga diperlukan teknik khusus untuk mengolah sinyal agar dapat menggambarkan kondisi mesin [8].

Sinyal yang didapat dari sensor akan diolah untuk diagnosis kondisi motor. Sinyal proses yang digunakan untuk deteksi kerusakan adalah *Time Domain Analisis*, *Fast Fourier Transform* (FFT) [9]-[11], *Hilbert Huang Transform* (HHT) [12][13], *Short Time Fourier Transform* (STFT) [14]-[16] dan *Wavelet Transform* (WT) [17][18]. Pengolahan sinyal yang mudah dan sederhana adalah FFT. FFT berperan untuk mentransformasi sinyal domain waktu menjadi domain frekwensi. Keuntungan analisis domain frekuensi adalah memiliki kemampuan untuk mengidentifikasi komponen sinyal [19].

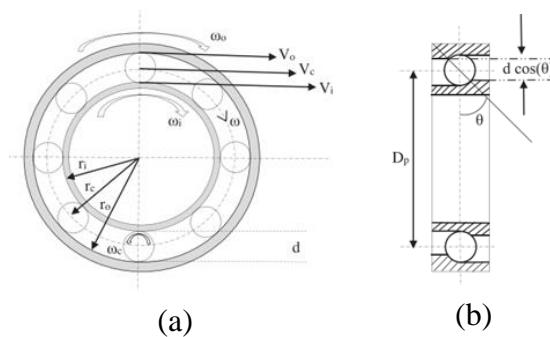
Sebagai *prime over* motor induksi dibutuhkan kecepatan yang tidak tetap dan deteksi kerusakan motor harus dilakukan secara kontinue agar keandalan tetap terjaga. Penelitian ini mengusulkan deteksi kerusakan dengan teknik non-invasive berdasarkan sinyal suara, dimana proses diagnosis dilakukan *real time*. Pengolahan data dan diagnosis menggunakan pendekatan analisis spektrum dan pengujian dilakukan pada variasi kecepatan. ANOVA merupakan pendekatan apakah deteksi kerusakan dapat dilakukan pada kondisi

motor beroperasi pada kecepatan yang berbeda. Hal ini perlu diteliti karena deteksi kerusakan sangat dipengaruhi oleh frekuensi bearing. Signifikansi hasil penelitian adalah pengembangan sistem diagnosis kerusakan bearing yang murah, sederhana, cepat dan akurasi tinggi. Hasil dari penelitian ini nantinya dapat digunakan sebagai alternatif untuk mendeteksi dini kerusakan pada motor induksi sehingga terhindar terjadinya kerusakan parah bahkan terhentinya operasional motor.

II. METODE PENELITIAN

2.1 Karakteristik Frekuensi Bearing

Bearing merupakan salah satu komponen penting dalam mesin listrik sehingga dapat mengakibatkan timbulnya permasalahan jika bearing tersebut mengalami kerusakan. Ketika terjadi kerusakan pada elemen bearing maka menyebabkan lonjakan amplitudo pada setiap frekuensi harmonik. Lonjakan amplitudo disebabkan kerapatan fluks pada air-gap menjadi tidak simetri dan mempengaruhi induktansi di stator [20].



Gambar 1. (a) Bearing tampak depan dan
(b) tampak samping

Gambar 1 menunjukkan bagian bearing tampak depan dan samping dengan dasar karakteristik frekwensi bearing. Ketika bearing berputar maka menghasilkan kecepatan linier pada cage sebesar :

$$V_c = \frac{V_i + V_o}{2} = \frac{\omega_i r_i + \omega_o r_o}{2} \quad (1)$$

$$V_c = \omega_c r_c = \omega_c \left(\frac{D_p}{2} \right) \text{ jika } r_c = \frac{D_p}{2}$$

Maka

$$\begin{aligned} \omega_c &= \left(\frac{2V_c}{D_p} \right) = \left(\frac{2}{D_p} \right) \cdot V_c = \left(\frac{2}{D_p} \right) x \left(\frac{\omega_i r_i + \omega_o r_o}{2} \right) \\ &= \frac{\omega_i r_i + \omega_o r_o}{D_p} \end{aligned} \quad (2)$$

$$r_i = \frac{D_p}{2} - \frac{d \cos \theta}{2} \text{ dan } r_o = \frac{D_p}{2} + \frac{d \cos \theta}{2}$$

r_i adalah jarak inner dan r_o adalah jarak outer race maka :

$$\begin{aligned} \omega_c &= \frac{\omega_i \left(\frac{D_p}{2} - \frac{d \cos \theta}{2} \right) + \omega_o \left(\frac{D_p}{2} + \frac{d \cos \theta}{2} \right)}{D_p} \\ &= \frac{1}{2} \left[\omega_i \left(1 - \frac{d \cos \theta}{D_p} \right) + \omega_o \left(1 + \frac{d \cos \theta}{D_p} \right) \right] \end{aligned} \quad (3)$$

Karena ω merupakan $2\pi f$ maka nilai frekwensi adalah :

$$f_c = \frac{1}{2} \left[f_i \left(1 - \frac{d \cos \theta}{D_p} \right) + f_o \left(1 + \frac{d \cos \theta}{D_p} \right) \right] \quad (4)$$

Frekwensi Outer Race Bearing dapat dihitung sebagai berikut :

$$f_o = N(\omega_c - \omega_o) = \frac{N}{2} (f_i - f_o) \cdot \left(1 - \frac{d \cos \theta}{D_p} \right) \quad (5)$$

Karena outer race terkunci dengan ekternal casing maka frekwensi inner race sama dengan frekwensi shaft rotor motor ($f_i = f_s$) sehingga frekwensi Outer Race Bearing diasumsikan 0 dan bernilai sama dengan kecepatan rotor (m) dengan demikian maka [21] :

$$f_o = \frac{N}{2} f_s \left(1 - \frac{d \cos \theta}{D_p} \right) = \frac{N}{2} m \left(1 - \frac{d \cos \theta}{D_p} \right) \quad (6)$$

Disaat Outer Race Bearing mengalami kerusakan maka lonjakan amplitudo akan terjadi pada komponen frekuensinya [22]. Dimana komponen

frekuensi *Outer Race Bearing* sesuai persamaan berikut :

$$f_v = |k \cdot f_o| \quad (7)$$

Dimana f_o adalah frekwensi *Outer Race Bearing* dari persamaan (6), f_v adalah frekwensi harmonik, dan k adalah konstanta $k=1,2,3,\dots$

2.2 Experimental Procedure And Methodology

Prosedur deteksi kerusakan motor terdiri dari tiga langkah yaitu pengumpulan data yang relevan dari mesin, kedua, pengolahan dan analisis data; dan ketiga adalah pengambilan keputusan diagnostic dan prognostic [23]. Gambar 2 merupakan prosedur dan methodology penelitian.

Proses analisis kerusakan domain waktu memerlukan analisis cukup panjang yang dapat menimbulkan ketidaktelitian hasil analisis. Analisis sinyal akan lebih mudah dilakukan pada domain frekuensi [19]. Salah satu formulasi yang ampuh untuk proses pengolahan sinyal adalah menggunakan *Discrete Fourier Transform* (DFT). Untuk memangkas proses dengan waktu yang lebih cepat maka dikembangkan FFT. Prinsip kerja FFT adalah membagi sinyal hasil penyamplungan menjadi beberapa bagian yang kemudian masing-masing bagian diselesaikan dengan algoritma yang sama dan hasilnya dikumpulkan kembali [23]. Persamaan DFT adalah :

$$X_{(k)} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-i2\pi\frac{k}{N}n}, k = 1,2,\dots,(N-1)$$

Dimana N adalah jumlah data dan k adalah indeks frekuensi. Agar perhitungan lebih singkat maka FFT akan membagi sampel data menjadi dua bagian, kemudian pada masing-masing kelompok sampel dikerjakan menggunakan DFT sehingga dapat digambarkan dengan rumus :

$$FFT(N) = DFT\left(\frac{N}{2}\right) + DFT\left(\frac{N}{2}\right)$$

Sehingga jumlah perhitungan FFT adalah

$$\begin{aligned} FFT(N) &= DFT\left(\frac{N}{2}\right)^2 + DFT\left(\frac{N}{2}\right)^2 \\ FFT(N) &= \frac{N^2}{2} \end{aligned}$$

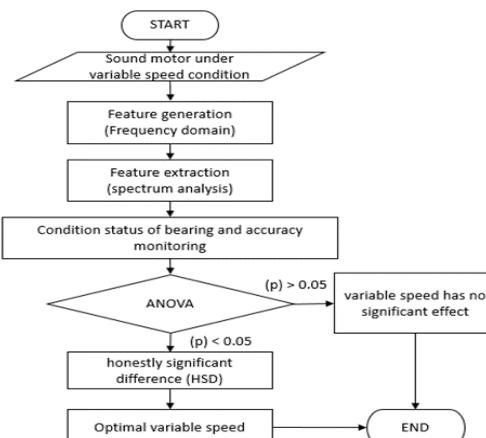
Dengan demikian perhitungan FFT lebih singkat dan effisien dibandingkan DFT. Langkah berikutnya adalah menghitung persamaan sesuai persamaan dasar FFT :

$$\begin{aligned} FFT(N) &= DFT\left(\frac{N}{2}\right) \text{ sampe genap} + \\ &DFT\left(\frac{N}{2}\right) \text{ sampe ganjil} \end{aligned}$$

Jika $n \text{ genap} = 2r$ dan $n \text{ ganjil} = 2r + 1$ dengan r adalah bilangan bulat positif maka persamaan FFT menjadi :

$$X_{(k)} = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x_{(2r)} e^{-i2\pi\frac{k}{N}(2r)} + \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x_{(2r+1)} e^{-i2\pi\frac{k}{N}(2r+1)} \quad (8)$$

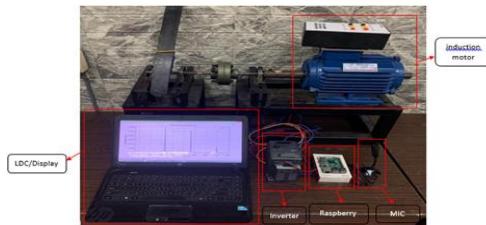
Dari rumus FFT didapatkan bahwa setiap nilai indeks frekuensi k mempunyai dua kelompok perkalian yaitu sampel genap dan ganjil. Setiap nilai indeks frekuensi k pada masing-masing kelompok memiliki jumlah sampel maksimum adalah $\frac{N}{2} - 1$.



Gambar 2. Prosedur penelitian

dikembangkan dalam penelitian ini berbasis sinyal suara yang berasal dari

pengoperasian motor induksi. Gambar 3 merupakan konfigurasi sistem diagnosis kerusakan bearing motor. Komponen yang digunakan terdiri dari motor induksi 3 fasa sebagai objek diagnosis, inveter sebagai *driver speed*, mikrofon sebagai sensor suara, dan raspberry sebagai mini PC untuk pengolahan sinyal dan diagnosis kerusakan.



Gambar 3. Konfigurasi deteksi kerusakan bearing

Kondisi kecepatan divariasikan dengan mengubah nilai frekuensi pada inverter. Dimana 10 Hz setara dengan kecepatan 298.4 rpm sampai 50Hz setara dengan kecepatan 1495.3 rpm. Pengujian kondisi bearing rusak dilakukan dengan cara rekonstruksi *Outer Race Bearing* dengan memberikan kecacatan buatan berupa kerusakan retak dan lubang. Pengujian bearing yang telah direkonstruksi dimaksud agar sistem diagnosis kerusakan dapat mengenali kondisi sebenarnya, baik kondisi kerusakan kecil (retak) atau kerusakan parah (berlubang). Gambar 4 menunjukkan rekonstruksi *Outer Race Bearing* sebagai bearing uji. Kerusakan buatan diupayakan dapat memberikan informasi karakteristik frekuensi yang menggambarkan ketidaknormalan *Outer Race Bearing*.



Gambar 4. Rekonstruksi outer race bearing

Design (CRD) diaplikasikan untuk menganalisis pengaruh variasi kecepatan

terhadap akurasi deteksi kerusakan. Model CRD adalah [25] :

$$Y_{ij} = \pi + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

dengan

$i = 1, 2, \dots, t$ dan $j = 1, 2, \dots, r$

Y_{ij}	= pengamatan pada perlakuan ke-i dan ulangan ke-j
π	= rataan umum
τ_i	= pengaruh perlakuan ke-i
ε_{ij}	= pengaruh acak pada perlakuan ke-i, ulangan ke-j

Hipotesis (H1) penelitian adalah variable kecepatan mempengaruhi akurasi deteksi kerusakan sedangkan (H0) kecepatan tidak mempengaruhi akurasi deteksi. Uji hipotesis menggunakan pendekatan ANOVA. Jika H1 ditolak maka dapat dinyatakan tindakan deteksi kerusakan dapat dilakukan pada seluruh variasi kecepatan motor.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Motor berputar dengan kecepatan yang tidak tetap dan disesuaikan dengan keperluan pengguna. Berdasarkan pendekatan tersebut pengujian terhadap variasi kecepatan dilakukan dengan menvariasikan frekuensi yaitu 10 Hz, 20 Hz, 30 Hz, 40 Hz, 50 Hz. Frekuensi tersebut akan menghasilkan putaran motor sebesar 298.4 rpm, 605.5 rpm, 900.6 rpm, 1196.7 rpm, dan 1495.3 rpm. Disaat terjadi perubahan kecepatan maka karakteristik frekuensi bearing akan berubah. Perlu kecermatan dalam indentifikasi kondisi bearing. Diperlukan frekuensi bearing pada setiap kecepatan motor. Tabel 1 merupakan frekuensi outer race bearing dari aplikasi persamaan (6) pada setiap kecepatan yang diuji. Dimana spesifikasi bearing uji adalah outside diameter = 52 mm, inside diameter = 25 mm, diameter ball = 7.25 mm, dan

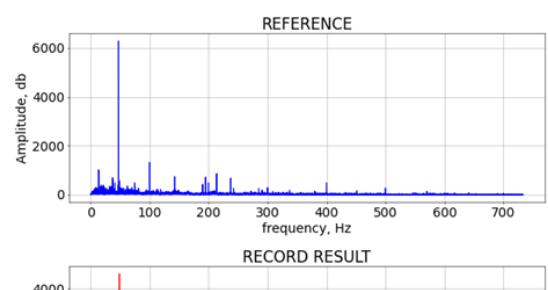
jumlah bearing 9 buah. Nilai frekuensi tersebut merupakan frekuensi fundamental outer race bearing. Untuk mendeteksi kerusakan outer race bearing dapat dilakukan dengan mengamati nilai amplitudo pada komponen frekuensi (f_v) dengan persamaan (7). Dengan record suara selama 30 detik maka didapatkan komponen harmonic sebanyak 8 (f_{ox8}).

Tabel 1. Frekuensi karakteristik bearing

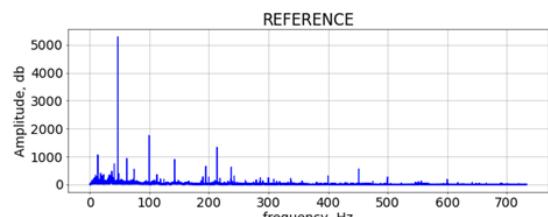
Speed (rpm)	Bearing Frequency (Hz)
298,5	18,1
605,5	36,8
900,6	54,8
1196,7	72,8
1495,3	91,0

Suara motor yang ditangkap oleh microphone diolah dengan pengolahan sinyal berbasis FFT. Proses tersebut menghasilkan spektum suara yang digunakan sebagai analisis kondisi motor dengan mengamati amplitudo pada frekuensi karakteristik bearing. Perbandingan sinyal suara uji dan sinyal suara referensi (diambil dari kondisi motor sehat) dijadikan pengambilan keputusan kondisi motor.

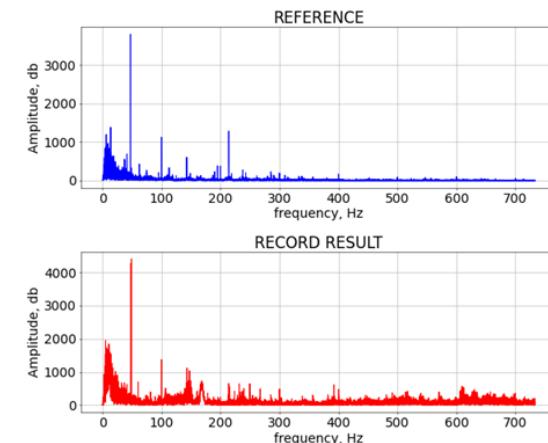
Jika terjadi lonjakan amplitudo di frekuensi bearing maka dapat disimpulkan terjadi ketidaknormalan pada elemen motor. Hasil diagnosis dikatakan akurat jika terjadi lonjakan amplitudo pada frekuensi bearing karena bearing yang diuji dalam kondisi *outer race* retak dan berlubang. Gambar 5 merupakan spectrum suara dengan kondisi kecepatan bervariasi a) kecepatan 298.4 rpm, b) kecepatan 605.5 rpm, c) kecepatan 900.6 rpm, d) kecepatan 1196.7, dan e) kecepatan 1495.3 rpm.



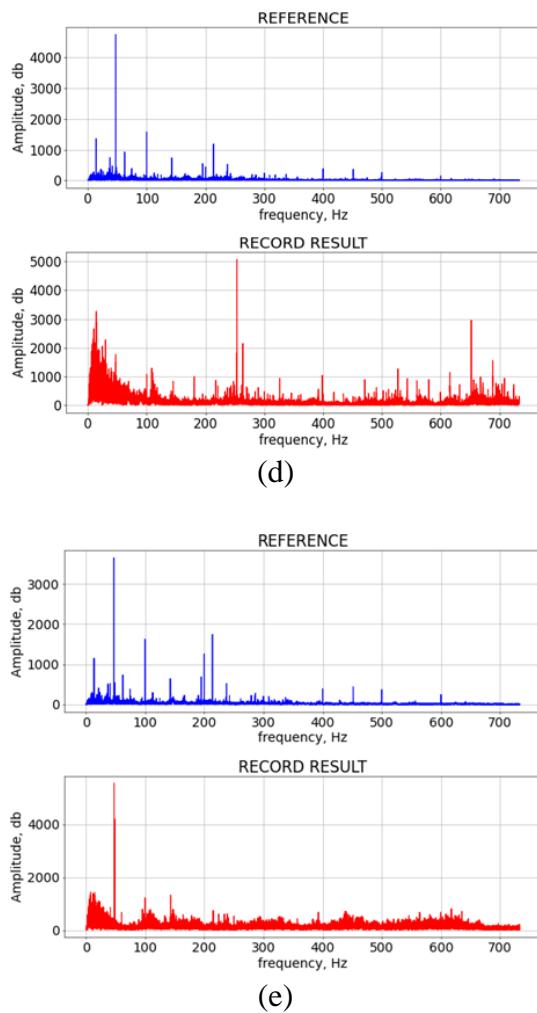
(a)



(b)



(c)



Gambar 5. Spectrum suara motor dengan variasi kecepatan, (a) 298,4 rpm, (b) 605,5 rpm, (c) 900,6 rpm, (d) 1196,7, dan (e) 1495,3 rpm

Untuk mempermudah pembacaan pada program diberi perintah untuk penampilan nilai amplitude pada seluruh komponen frekuensi harmonic bearing. Dengan membandingkan nilai amplitude pada setiap komponen harmoniknya nantinya akan diketahui akurasi deteksi kondisi outer race. Gambar 7 menunjukkan hasil tampilan deteksi kerusakan pada kecepatan motor 298,4 rpm.

Analisis spectrum menunjukkan amplitude pengujian di semua frekwensi harmonic bearing mengalami lonjakan dibandingkan amplitude referensi. Kondisi tersebut menggambarkan ketidaknormalan

elemen motor, keputusan ini dinyakatan valid karena kenyataannya bearing dalam kondisi retak. Oleh karena itu pengujian ini mencapai keakurasi 100%. Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali disetiap variasi kecepatan. Tabel 2 merupakan hasil akurasi deteksi kerusakan dengan pendekatan yang diusulkan.

```
OUTER RACE BEARING
frequency reference = 18.1 Hz with amplitude 99.0
frequency reference = 36.3 Hz with amplitude 203.0
frequency reference = 54.4 Hz with amplitude 41.0
frequency reference = 72.6 Hz with amplitude 26.0
frequency reference = 90.8 Hz with amplitude 78.0
frequency reference = 108.9 Hz with amplitude 80.0
frequency reference = 127.1 Hz with amplitude 43.0
frequency reference = 145.3 Hz with amplitude 64.0
frequency tested = 18.1 Hz with amplitude 198.0
frequency tested = 36.3 Hz with amplitude 383.0
frequency tested = 54.4 Hz with amplitude 307.0
frequency tested = 72.6 Hz with amplitude 42.0
frequency tested = 90.8 Hz with amplitude 215.0
frequency tested = 108.9 Hz with amplitude 312.0
frequency tested = 127.1 Hz with amplitude 413.0
frequency tested = 145.3 Hz with amplitude 243.0
[2.69726562]
2.697265625
[3.71601868]
3.7160186767578125
Bearing Outer Rusak
```

Gambar 6. Analisa spektrum pada pengujian kecepatan motor 298,4 rpm

Tabel 2. Akurasi deteksi kerusakan pada seluruh pengujian

Speed (rpm)	Repetition of fault detection accuracy tests (%)				
	1	2	3	4	5
298,5	73,7	100	81,2	87,5	87,5
605,5	93,7	87,5	87,5	87,5	87,5
900,6	100	87,5	93,7	93,7	93,7
1196,7	93,7	75,0	87,5	93,7	93,7
1495,3	93,7	93,7	93,7	93,7	93,7

Deteksi kerusakan harus dilakukan secara kontinyu, namun pengoperasian motor harus tetap berjalan dimana kecepatan operasionalnya tidak konstan. Untuk mengetahui pengaruh variasi kecepatan terhadap akurasi deteksi maka uji CRD dengan ANOVA diterapkan. Tabel 3 merupakan tabulasi data uji ANOVA. Terlihat bahwa nilai $P_value (p) = 0,944$ lebih besar dari konstanta kepercayaan 0,05 sehingga hipotesis (H_1) ditolak, ini berarti variasi kecepatan tidak mempengaruhi akurasi deteksi kerusakan.

Tabel 3. ANOVA test

Source of diversity	Degrees free	Sum of square	Middle square	F-value	P-Value
Treatment	4	34,88	8,72	0,18	0,944
Galat	20	946,79	47,33		
Total	24	981,67			

Tabel 4 menunjukkan penelitian yang serupa, dimana deteksi kerusakan dilakukan pada kecepatan yang bervariasi. Dari beberapa pengembangan system deteksi kerusakan didapatkan bahwa hasil penelitian yang diusulkan memberikan kontribusi pengembangan deteksi

kerusakan berdasarkan sinyal suara yang murah dan cepat. Pemprosesan sinyal dan diagnosis dilakukan secara sederhana dan realtime sehingga tidak menyita waktu sehingga tindakan maintenance segera dilakukan.

Tabel 4. Penelitian serupa, deteksi kerusakan pada kecepatan bervariasi

Reference	Feature generation	Feature extraction method	Under Speed variable	Realtime
[26]	Vibration signal	Cepstrum pre-whitening and kurtosis	Yes	Yes
[27]	Vibration signal	Wavelet transform	Yes	No
[28]	Current	Discrete wavelet transform	Yes	Yes
[29]	Vibration signal	Wavelet transform (WT) and Gaussian process (GP)	Yes	No
[30]	Vibration signal	Time-frequency analisys	Yes	

IV. SIMPULAN

Deteksi kerusakan dengan teknik non invasive melalui suara motor dan analisis spektrum mendapatkan akurasi rata-rata sebesar 90.17% sehingga teknik ini dapat digunakan sebagai monitoring kondisi motor yang menjanjikan. Sistem diagnosis secara real-time berbasis raspberry menghasilkan deteksi kerusakan dapat dilakukan dengan cepat.

Dari uji ANOVA menyatakan bahwa variasi kecepatan tidak mempengaruhi akurasi deteksi. Dari uji hipotesis tersebut dinyatakan bahwa tindakan monitoring kondisi mesin atau deteksi kerusakan dapat dilakukan kapan saja tanpa mempertimbangkan kecepatan operasional motor. Hal ini sangat menguntungkan sehingga operasional motor tetap berjalan,

keandalan kerja motor tetap terjaga, dan effiesien waktu.

V. RUJUKAN

- [1] R.N. Toma, A.E. Prosvirin, J.M. Kim. "Bearing Fault Diagnosis Of Induction Motors Using A Genetic Algorithm And Machine Learning Classifiers". *Sensors*, 20 (7), 1884. 2020.
- [2] C. Malla and I. Panigrahi. "Review Of Condition Monitoring Of Rolling Element Bearing Using Vibration Analysis And Other Techniques". *Journal of Vibration Engineering & Technologies*, 7(4), pp.407-414. 2019.
- [3] W.J. Lee, K. Xia, N.L. Denton, B. Ribeiro & J.W. Sutherland. "Development Of A Speed Invariant Deep Learning Model With Application To

- Condition Monitoring Of Rotating Machinery". Journal of Intelligent Manufacturing, 32(2), pp. 393-406. 2021.*
- [4] M. Karami, N.B. Mariun, M.Z.A. Abd-Kadir, N. Misron and M.A. Mohd Radzi. "Motor Current Signature Analysis-Based Non-Invasive Recognition Of Mixed Eccentricity Fault In Line Start Permanent Magnet Synchronous Motor". *Electric Power Components and Systems, 49 (1-2), pp.133-145. 2021.*
- [5] A. Choudhary, T. Mian, and S. Fatima, 2021. "Convolutional neural network based bearing fault diagnosis of rotating machine using thermal images". *Measurement, 176, p.109196. 2021.*
- [6] T. Mohanraj, S. Shankar, R. Rajasekar, N.R. Sakthivel and A. Pramanik. "Tool Condition Monitoring Techniques In Milling Process A Review". *Journal of Materials Research and Technology, 9 (1), pp.1032-1042. 2020.*
- [7] D. Goyal, C. Mongia and S. Sehgal. "Applications Of Digital Signal Processing In Monitoring Machining Processes And Rotary Components: A Review". *IEEE Sensors Journal, 21(7), pp.8780-8804. 2021.*
- [8] D.K. Saha, S. Ahmed and M.S. Shaurov. "Different Machine Maintenance Techniques of Rotary Machine and Their Future Scopes: A Review". In *2019 4th International Conference on Electrical Information and Communication Technology (EICT) (pp. 1-6). IEEE. 2019.*
- [9] A.K. Sinha, P. Kumar and A.S. Hati. "ANN Based Fault Detection Scheme for Bearing Condition Monitoring in SRIMs using FFT, DWT and Band-pass Filters". In *2020 International Conference on Power, Instrumentation, Control and Computing (PICC) (pp. 1-6). IEEE. 2020*
- [10] Y.J. Yoo. "Fault Detection Of Induction Motor Using Fast Fourier Transform With Feature Selection Via Principal Component Analysis". *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 20 (9), pp.1543-1552. 2019.*
- [11] N. Sikder, K. Bhakta, A. Al Nahid and M.M. Islam. "Fault Diagnosis Of Motor Bearing Using Ensemble Learning Algorithm With FFT-Based Preprocessing". *International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques (ICREST) (pp. 564-569). IEEE. 2019.*
- [12] F. Alvarez-Gonzalez, A. Griffio and B. Wang. "Permanent Magnet Synchronous Machine Stator Windings Fault Detection By Hilbert–Huang Transform". *The Journal of Engineering, 2019 (17), pp.3505-3509. 2019.*
- [13] T. Gao, W. Sheng, M. Zhou, B. Fang, F. Luo and J. Li. "Method For Fault Diagnosis Of Temperature-Related Mems Inertial Sensors By Combining Hilbert–Huang Transform And Deep Learning". *Sensors, 20 (19), p.5633. 2020.*
- [14] M.E.A Khodja, A.F. Aimer, A.H. Boudinar, N. Benouzza and A. Bendiabdellah. "Bearing Fault Diagnosis Of A PWM Inverter Fed-Induction Motor Using An Improved Short Time Fourier Transform". *Journal of Electrical Engineering & Technology, 14(3), pp.1201-1210. 2019.*
- [15] Y. Du, A. Wang, S. Wang, B. He and G. Meng. "Fault Diagnosis Under Variable Working Conditions Based On STFT And Transfer Deep Residual Network". *Shock and Vibration, 2020.*
- [16] C.T. Alexakos, Y.L. Karnavas, M. Drakaki and I.A. Tzafettas. "A Combined Short Time Fourier Transform And Image Classification Transformer Model For Rolling Element Bearings Fault Diagnosis In Electric Motors". *Machine Learning and Knowledge Extraction, 3 (1), pp.228-242. 2021.*
- [17] Y.M. Hsueh, V.R. Ittangihal, W.B. Wu, H.C. Chang and C.C. Kuo. "Fault Diagnosis System For Induction Motors by CNN Using Empirical Wavelet Transform". *Symmetry, 11 (10), p.1212. 2019.*
- [18] M.A. Hmida, A. Braham. "Fault Detection Of VFD-Fed Induction Motor Under Transient Conditions Using Harmonic Wavelet Transform". *IEEE*

- Transactions on Instrumentation and Measurement*, 69 (10), pp.8207-8215. 2020.
- [19] H. Nakamura, K. Asano, S. Usuda and Y. Mizuno. "A Diagnosis Method Of Bearing And Stator Fault In Motor Using Rotating Sound Based On Deep Learning". *Energies*, 14 (5), p.1319. 2021.
- [20] N.W. Nirwan, H.B. Ramani. "Condition Monitoring And Fault Detection In Roller Bearing Used In Rolling Mill By Acoustic Emission And Vibration Analysis". *Materials Today: Proceedings*, 51, pp.344-354. 2022.
- [21] M.R. Barusu, M. Deivasigamani. "Non-Invasive Vibration Measurement For Diagnosis Of Bearing Faults In 3-Phase Squirrel Cage Induction Motor Using Microwave Sensor". *IEEE Sensors Journal*, 21 (2), pp.1026-1039. 2020.
- [22] P. Ewert, C.T. Kowalski and T. Orlowska-Kowalska. "Low Cost Monitoring And Diagnosis System For Rolling Bearing Faults Of The Induction Motor Based On Neural Network Approach". *Electronics*, 9 (9), p.1334. 2020.
- [23] P. Gangsar and R. Tiwari. "Signal Based Condition Monitoring Techniques For Fault Detection And Diagnosis Of Induction Motors: A State-Of-The-Art Review". *Mechanical systems and signal processing*, 144, p.106908. 2020.
- [24] A. Burova. "Reducing The Error Of Digital Algorithms For Deductive Signal Processing Based On Their Multi-Stage Discrete Fourier Transform By The Difference Digital Filters". In 2020 22th International Conference on Digital Signal Processing and its Applications (DSPA) (pp. 1-3). IEEE. 2020.
- [25] M.N.S.K. Shabbir, X. Liang, S. Chakrabarti, S. "An ANOVA-Based Fault Diagnosis Approach For Variable Frequency Drive-Fed Induction Motors". *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 36 (1), pp.500-512. 2020.
- [26] A. Klausen, H.V. Khang and K.G. Robbersmyr. "Multi-Band Identification For Enhancing Bearing Fault Detection In Variable Speed Conditions". *Mechanical Systems and Signal Processing*, 139, p.106422.2020.
- [27] Y. Hu, X. Tu, F. Li, H. Li and G. Meng. "An Adaptive And Tacholess Order Analysis Method Based On Enhanced Empirical Wavelet Transform For Fault Detection Of Bearings With Varying Speeds". *Journal of Sound and Vibration*, 409, pp.241-255. 2017.
- [28] T. Ameid, A. Menacer, H. Talhaoui and Y. Azzoug. "Discrete Wavelet Transform And Energy Eigen Value For Rotor Bars Fault Detection In Variable Speed Field-Oriented Control Of Induction Motor Drive". *ISA Transactions*, 79, pp.217-231. 2018.
- [29] J. Park, M. Hamadache, J.M. Ha, Y. Kim, K. Na, B.D. Youn. "A Positive Energy Residual (PER) Based Planetary Gear Fault Detection Method Under Variable Speed Conditions". *Mechanical Systems and Signal Processing*, 117, pp.347-360. 2019.
- [30] L. Wang, J. Xiang and Y. Liu. "A Time-Frequency-Based Maximum Correlated Kurtosis Deconvolution Approach For Detecting Bearing Faults Under Variable Speed Conditions". *Measurement science and technology*, 30 (12), p.125005. 2019.