**PROTON: Jurnal Ilmu-ilmu Teknik Mesin**
**E-ISSN: 2721-2874**
**P-ISSN: 2086-2962**

# Pengembangan Sistem IoT Pemantauan Getaran dan Aliran Udara Abrasif Blower Ventilator Sandblasting Berbasis Sensor Piezoelektrik

**Muhammad Fajri Maulana[1]✉, Ahmad Atif Fikri [2]**

[1,2]Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang
Jl. Cakrawala No.5, Sumbersari, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65145
✉*Corresponding author*: fajrimaulana164@gmail.com

Diterima Redaksi : 30 Januari 2025
Selesai Revisi : 1 Mei 2025
Diterbitkan Online : 22 Mei 2025

***Abstract***

*This study develops an Internet of Things (IoT)-based system using a piezoelectric sensor for real-time analysis of vibration frequency and amplitude in blower ventilators to detect mechanical wear and its impact on airflow rate and blower efficiency. The piezoelectric sensor is chosen for its high sensitivity in converting mechanical vibrations into electrical signals, enabling the detection of even the slightest vibrations. Real-time data analysis helps identify early signs of mechanical degradation that affect machine performance. Early detection enables more effective and efficient maintenance, helping prevent workplace accidents and ensuring the safety of sandblasting operations. Test results show significant differences in vibration patterns between two blower ventilators. Blower 1 exhibits higher vibration frequency and amplitude than blower 2, indicating stronger vibrations that negatively impact performance. Airflow measurements also show that blower 1 has a lower airflow rate than blower 2. These findings suggest that high vibration frequency and amplitude can serve as indicators of reduced performance and efficiency in blower ventilators.*

***Keywords:*** *Internet of Things (IoT); Piezoelectric sensor ; Vibration analysis; Mechanical wear; Blower ventilator efficiency*

**Abstrak**

Penelitian ini mengembangkan sistem berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan sensor piezoelektrik untuk menganalisis frekuensi dan amplitudo getaran secara real-time pada blower ventilator guna mendeteksi keausan mekanis dan dampaknya terhadap penurunan laju aliran udara serta efisiensi blower. Sensor piezoelektrik dipilih karena kemampuannya yang tinggi dalam mengubah getaran mekanis menjadi sinyal listrik, sehingga mampu mendeteksi getaran terkecil sekalipun. Data dari sensor dianalisis secara real-time untuk mengidentifikasi tanda awal kerusakan mekanis yang memengaruhi performa mesin. Deteksi dini ini memungkinkan tindakan pemeliharaan yang lebih efektif dan efisien, mencegah kecelakaan kerja, serta menjaga keamanan proses sandblasting. Hasil pengujian menunjukkan perbedaan signifikan pada pola frekuensi getaran antara dua blower. Blower 1 memiliki frekuensi dan amplitudo getaran yang lebih tinggi dibanding blower 2, yang mengindikasikan adanya getaran kuat yang memengaruhi kinerja blower. Hasil uji laju aliran udara juga menunjukkan blower 1 memiliki aliran udara yang lebih rendah dibanding blower 2. Temuan ini menunjukkan bahwa frekuensi dan amplitudo getaran yang tinggi dapat menjadi indikator penurunan performa dan efisiensi blower ventilator.

**Kata kunci:** Internet of Things (IoT); Sensor piezoelektrik; Analisis getaran; Keausan mekanis; Efisiensi blower ventilator.

## 1. Pendahuluan

Perkembangan sektor industri pembangkit listrik dalam dekade terakhir telah mengalami transformasi yang signifikan, seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi dan tantangan lingkungan yang semakin tinggi. Presiden Indonesia Ir. Joko Widodo Saat Peluncuran Program Pembangunan Pembangkit 35.000 MW menyatakan bahwa semua proyek 35.000 MW harus terus dijalankan dan telah dilakukan kontrak seluruhnya pada tahun 2015. Pertumbuhan ekonomi yang terjadi membuat peningkatan permintaan energi, terutama pada sektor industri. Menurut Melany, pada tahun 2025 Indonesia akan menargetkan pengurangan energi listrik hingga 33%, dengan mengefisienkan alat listrik yang masih ada [1]. Tahun 2012, data kementerian energi listrik dan sumber mineral, menunjukkan bahwa penggunaan energi pada sektor perusahaan adalah yang terbesar dengan 51,85%, Sector transportasi 30,77%, dan di ikuti sector rumah tangga 13,18% serta sektor komersil lainnya sebesar 4,28% [1].

Indonesia merupakan negara berkembang dengan perkembangan industri yang sangat cepat, industri seperti pembangkit listrik, minyak, gas, otomotif dan lainnya tumbuh menjamur hingga saat ini. Industri-industri tersebut banyak menggunakan mesin berputar sebagai mesin utama seperti pompa, kompresor dan turbin menjadi mesin yang memiliki pengaruh paling besar dalam sebuah industri. Dengan pengaruh besar tersebut tentunya kinerja dan performa dari mesin berputar harus dijaga, sehingga pemeliharaan mesin yang baik seharusnya dilakukan oleh industri tersebut untuk menjaga performa mesin dari segala resiko kegagalan yang terjadi [2]. PLTU paiton unit 7,8 dan 3 mendatangkan batubara dari Kalimantan melalui kapal tongkang yang berkapasitas hingga 43.000ton dalam memenuhi kebutuhan pasokan energi. Peningkatan kebutuhan energi ini, membuat pemeliharaan mesin secara berkala menjadi penting bagi PLTU, untuk menjaga kulitas mesin agar terhindar dari kerusakan yang dapat menghambat kegiatan operasional dan memunculkan potensi (Pipit Muliyah et al., 2020).

*Preventive maintenance* memainkan peran yang sangat penting dalam memastikan operasi pada industri pembangkit listrik (PLTU) yang efisien dan berkelanjutan. Pemeliharaan yang baik tidak hanya berfokus pada perbaikan peralatan yang rusak, tetapi juga pada upaya untuk mencegah kerusakan sebelum terjadi [4]. *Downtime* dalam sektor pembangkit listrik dapat menyebabkan kerugian finansial yang signifikan dan mengganggu pasokan energi. Penerapan strategi pemeliharaan *preventif* dapat mengurangi frekuensi dan durasi gangguan *operasional*, serta memperpanjang umur peralatan. Penggunakan teknologi pemantauan kondisi dan analisis data, operator pembangkit listrik dapat mengidentifikasi potensi masalah sebelum menjadi kritis, sehingga memungkinkan tindakan perbaikan yang tepat waktu dan efisien. *Preventif maintenance* juga berkontribusi pada keberlanjutan lingkungan dengan mengurangi limbah dan emisi yang dihasilkan dari operasi yang tidak efisien [1].

Industri *power plant* menjalankan upaya dalam kegiatan *preventif maintenance* antara lain *rubbering, welding,* dan *sandblasting*. *Sandblasting* memiliki peranan yang sangat penting dalam kegiatan *maintenance*, karena sebuah mesin yang mengalami korosi dapat mempercepat kerusakan dan memperpendek umur suatu mesin, yang menyebabkan munculnya berbagai masalah pada mesin. *Sandblasting* adalah proses membersihkan atau menghaluskan permukaan dengan cara menembakkan material abrasif seperti pasir silica, *steel grit*, atau garnet menggunakan udara bertekanan tinggi, untuk membersihkan permukaan yang berkarat, cat lama, atau kotoran dari logam sebelum dilakukannya

pengecatan atau pelapisan. Proses ini melepaskan debu dan partikel berbahaya yang dihasilkan selama proses pembersihan permukaan logam, yang mana jika sampai terhirup dapat menyebabkan kondisi yang sangat berbahaya bagi Kesehatan [4].

Proses *sandblasting blower ventilator* memiliki peranan yang penting untuk mengontrol keluarnya material agar dialirkan ke tempat yang lebih aman agar tidak terhirup. *Blower* dengan kondisi buruk dan tidak segera diperbaiki dapat mengurangi efisiensi proses *sandblasting* dan menyebabkan peningkatan resiko kesehatan bagi pekerja, hal ini membuat pemantauan kondisi pada *blower* sangat penting untuk menjaga keselamatan dan kesehatan kerja [5]. *Blower ventilator* juga memiliki peran krusial saat *preventif maintenance* lainnya, dalam menjaga sirkulasi udara dan mencegah overheating pada mesin. Kinerja *blower* yang optimal sangat penting untuk memastikan efisiensi operasional pembangkit listrik. Seiring waktu, *blower ventilator* dapat mengalami kerusakan akibat keausan, korosi, atau akumulasi partikel. Tanpa pemantauan dan perawatan yang tepat, kondisi *blower* yang buruk dapat mengakibatkan penurunan efisiensi sistem dan meningkatkan risiko kegagalan operasional (R Indra, 2020). Metode umum dalam pemeliharaan *preventif* pada *blower ventilator* adalah mengnalisis frekuensi getaran pada komponen *ventilator*. Getaran *abnormal* pada *blower* dapat menjadi indikator awal dari potensi kegagalan sistem. Penting untuk mengembangkan metode yang efektif dalam menganalisis kondisi *blower* guna mencegah kerusakan yang lebih besar dan memastikan kelangsungan keamanan operasi [5]. Kondisi *blower* yang kurang baik, dan jarang dilakukannya *preventif maintenance* membuat *blower ventilator* mengalami keausan mekanik (*mechanical wear*). Keausan mekanik memicu munculnya frekuensi getaran berlebih dan amplitudo yang tinggi, yang berdampak kepada kinerja mesin. Amplitudo yang tinggi pada mesin *blower* membuat laju aliran yang dihasilkan pada *blower* menjadi menurun dan berdampak pada penurunan efisiensi pada pada *blower ventilator*[7].

Seiring dengan perkembangan teknologi yang semakin cepat, dalam konteks keselamatan dan kesehatan kerja (K3), perkembangan industri 4.0 yang berbasis pada digitalisasi juga mempengaruhi semua aspek kehidupan, yang mana perkembangan ini dapat memudahkan dalam kegiatan *preventif maintenance*. Salah satunya dengan penggunaan sensor dan teknologi *IoT* dalam proses industri, yang mana metode ini dapat memungkinkan dalam pengumpulan data secara *real-time*, yang dapat digunakan untuk analisis dan pengambilan data [8]. Pemanfaatan teknologi ini membuat perusahaan dapat meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi risiko kecelakaan kerja. Penerapan sensor *piezoelektrik* dalam pemantauan kondisi *blower ventilator* juga memberikan keuntungan tambahan dalam hal penghematan biaya. Pendeteksian masalah lebih awal membuat perusahaan dapat menghindari biaya perbaikan yang lebih besar dan *downtime* yang tidak diinginkan. Sistem pemantauan yang terintegrasi dapat memberikan informasi yang berharga untuk perencanaan pemeliharaan dan pengelolaan aset [9].

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sensor *piezoelektrik* sebagai upaya deteksi dini dari kerusakan mekanis berbasis *IoT*. Sensor *piezoelektrik* memiliki kemampuan untuk membaca dan menganalisis frekuensi getaran pada *blower ventilator*, yang memungkinkan identifikasi masalah sebelum menjadi lebih serius. Alat ini akan digunakan untuk menguji dua *blower* dengan kondisi berbeda. Data yang diperoleh diharapkan dapat menjadi dasar bagi pihak keselamatan dalam menetapkan standar keamanan penggunaan *blower* dalam proses *sandblasting* [7].

Penulis berharap dengan penelitian ini, pengembangan alat berbasis sensor *piezoelektrik* tidak hanya akan meningkatkan efisiensi dan keselamatan kerja, tetapi juga memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi pemeliharaan berbasis *IoT* di sektor industri. Penelitian ini dapat menjadi langkah awal dalam menciptakan sistem pemeliharaan yang lebih canggih dan responsif terhadap kebutuhan industri.

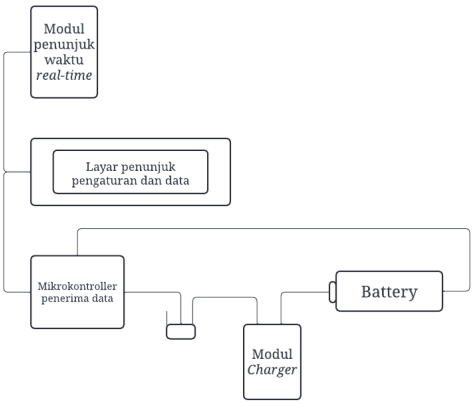
## 2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode eksperimental. Penelitian menggunakan dua sensor piezodisc sebagai pendeteksi getaran yang dipasang pada blower. Data hasil pengujian yang berupa sinyal akan ditransformasian ke domain frekuensi dan dianalisis. Kedua sensor piezodisc pada blower ventilator masing-masing akan melakukan pengambilan data selama 10 kali, dengan waktu 1 detik setiap periodenya, dengan total waktu 10 detik. Dilanjutkan dengan pengambilan data laju aliran pada kedua blower dengan menggunakan anemometer, sebanyak 5 kali untuk blower 1 dan blower 2, dan rata-rata laju aliran akan diolah untuk dapat menemukan debit aliran pada blower tersebut. Penelitian ini dilaksanakan di PLTU paiton, dengan durasi perizinan untuk pengambilan data dari tanggal 20 april 2025 hingga 25 april 2025 dalam periode tersebut, berbagai aktivitas terkait pengumpulan data getaran dilakukan. Metode pengumpulan data melibatkan pemasangan sensor getaran di bagian housing blower secara real-time.

Dalam penelitian ini terdapat tiga jenis variabel, yaitu variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol. Variabel bebasnya adalah peletakan kedua titik sensor pada blower, yang memengaruhi variabel terikat berupa perubahan getaran pada blower ventilator dan debit aliran blower. Sementara itu, variabel kontrol yang dijaga tetap agar tidak memengaruhi hasil penelitian meliputi jenis sensor yang digunakan (piezodisc), pembebanan zat yang ditiupkan oleh blower, suhu udara yang masuk, desain dan ukuran saluran blower, serta kecepatan putaran blower.Bagian judul dicetak tebal. Judul yang termasuk sebagai bagian dari judul sebelumnya dicetak sebagai bagian dari paragraf (seperti bagian sub judul pada paragraf ini). Jangan berikan penomoran halaman pada makalah. Nomor halaman akan diberikan secara otomatis oleh tim editor.

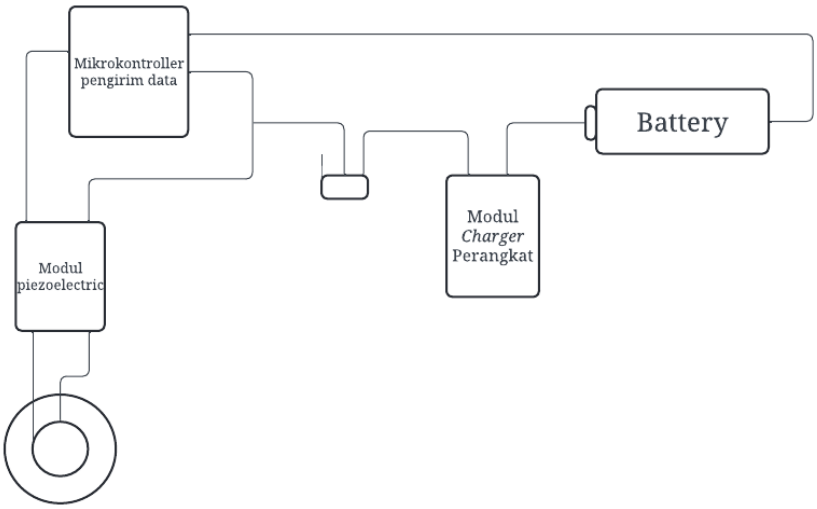
### *2.1 Wiring Diagram*

Sensor dan modul dibagi menjadi dua jenis perangkat agar dapat dijadikan sebagai perangkat IoT, dimana satu perangkat sebagai alat pengambil data dan satu perangkat sebagai tempat pengumpul data




Gambar 1. Wiring Diagram Perangkat Pengumpul Data

Perangkat pengumpul data terdiri dari Wemos D1 Mini sebagai pusat dari rangkaian dengan tambahan modul RTC Ds1307 sebagai penyedia waktu real-time dan LCD 1602 sebagai penampil pesan, sensor pembacaan, data sensor, atau informasi seperti pengaturan pada alat. TP4056 digunakan sebagai modul untuk melakukan charge ulang pada baterai.




Gambar 2. Perangkat Pengambil Data

Perangkat pengambil data memiliki rangkaian seperti pada Gambar 2 dimana rangkaian terpusat pada Wemos D1 Mini sebagai mikrokontroller dan disambungkan dengan modul dan sensor piezodisc sebagai sensor pendeteksi getaran. Kedua perangkat menggunakan mikrokontroller yang sama yaitu Wemos D1 Mini dikarenakan fungsinya yang didukung untuk bertukar data melalui modul WiFi sehingga memungkinkan untuk dijadikan perangkat berbasis IoT.

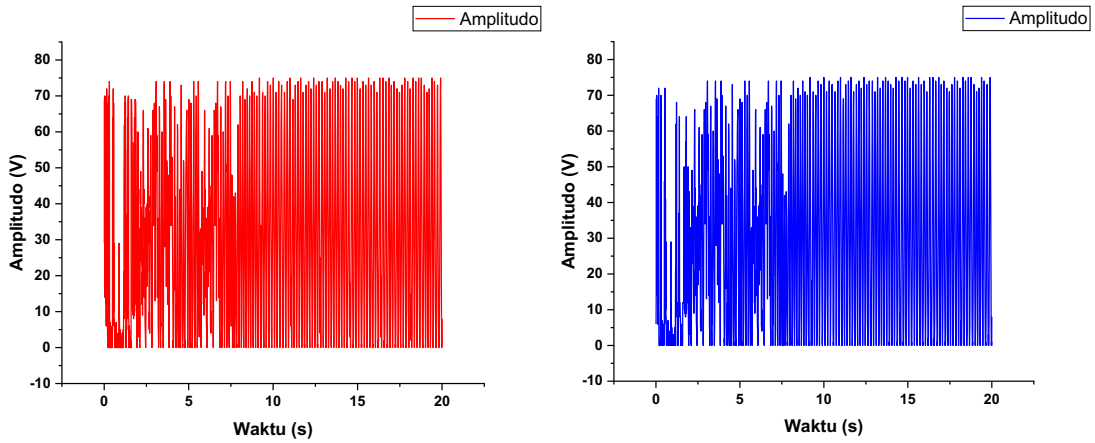
### *2.2 Data Processing*

Data Processing atau pemrosesan data mengacu pada konversi data mentah menjadi informasi yang bermakna melalui berbagai teknik dan metode. Hal ini melibatkan beberapa tahap, termasuk pengumpulan data, entri data, pembersihan data, transformasi data, analisis data, dan visualisasi data. Dalam pemrosesan data, data mentah diatur, diolah, dan diinterpretasikan untuk membuat keputusan yang tepat. Hal ini dapat melibatkan tugas-tugas seperti menyaring informasi yang tidak relevan, mengumpulkan data, melakukan perhitungan atau analisis statistik, dan menyajikan hasilnya dalam format yang dapat dipahami. Pemrosesan data yang dilakukan menggunakan beberapa metode seperti Kalman filter dan FFT.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Pengujian Sensor Piezoelektrik

Data pengujian didapatkan dari pengujian secara langsung pada blower ventilator 1 dan blower ventilator 2. Data frekuensi getaran diambil dari dua blower ventilator dengan kondisi yang berbeda. Peletakan sensor pada bagian kiri dan kanan blower ventilator. Pengujian dilakukan selama proses sandblasting dilakukan dan interval pengambilan data dari sensor adalah 100 data per detik. Gambar 4.1 menunjukkan Getaran pada blower ventilator 1, sedangkan Gambar 4.2, menunjukkan Getaran pada blower ventilator 2.



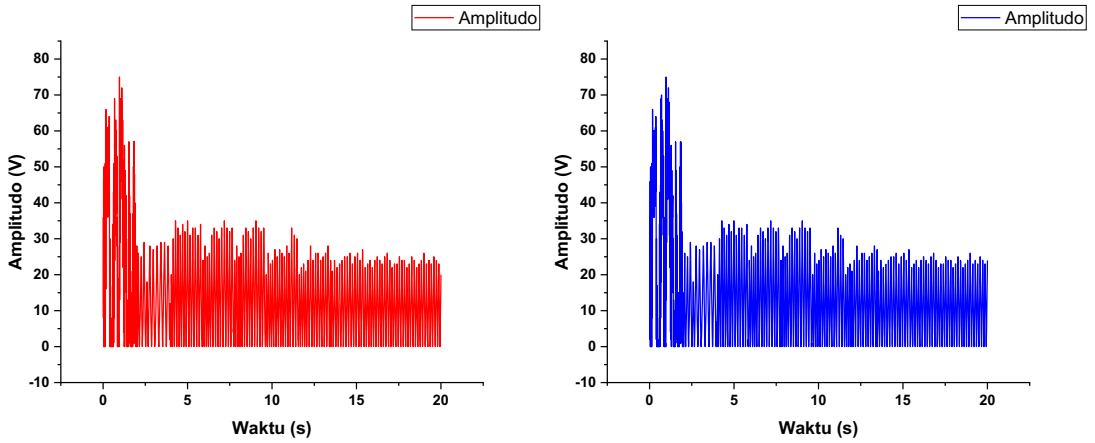

(a) (b)

Gambar 3. Data Getaran Blower ventilator 1 (a) Sensor 1, (b) Sensor 2

Gambar tersebut menunjukkan dua grafik hasil pengukuran amplitudo getaran terhadap waktu pada sistem Internet of Things (IoT) yang dikembangkan untuk memantau kinerja blower ventilator pada proses sandblasting. Sistem ini menggunakan sensor piezoelektrik untuk mendeteksi perubahan getaran dan amplitudo yang terjadi akibat variasi laju aliran udara abrasif di dalam saluran blower.

Pada grafik sebelah kiri terlihat sinyal berwarna merah, sedangkan grafik kanan menampilkan sinyal berwarna biru. Keduanya menunjukkan fluktuasi amplitudo dalam satuan volt (V) terhadap waktu (s). Nilai amplitudo berkisar antara 0–80 V, dengan pola fluktuasi yang cukup rapat dan tidak beraturan. Pola tersebut mencerminkan karakteristik getaran yang muncul akibat adanya turbulensi udara dan tumbukan partikel abrasif pada dinding pipa atau baling-baling ventilator.

Perbedaan warna pada grafik menandakan dua kondisi pengujian yang berbeda, misalnya variasi kecepatan udara atau tingkat tekanan abrasif. Grafik merah dapat diinterpretasikan sebagai kondisi dengan debit udara lebih tinggi, ditunjukkan oleh amplitudo yang lebih sering mencapai puncak maksimum, sementara grafik biru menunjukkan kondisi dengan aliran lebih stabil atau tekanan yang lebih rendah. Dengan demikian, sensor piezoelektrik berhasil merekam perubahan tegangan akibat deformasi mekanik yang dipicu oleh getaran sistem, lalu data tersebut dikirim secara nirkabel melalui modul IoT untuk dianalisis secara real-time.




(a) (b)

Gambar 4. Data Getaran Blower ventilator 2 (a) Sensor 1, (b) Sensor 2

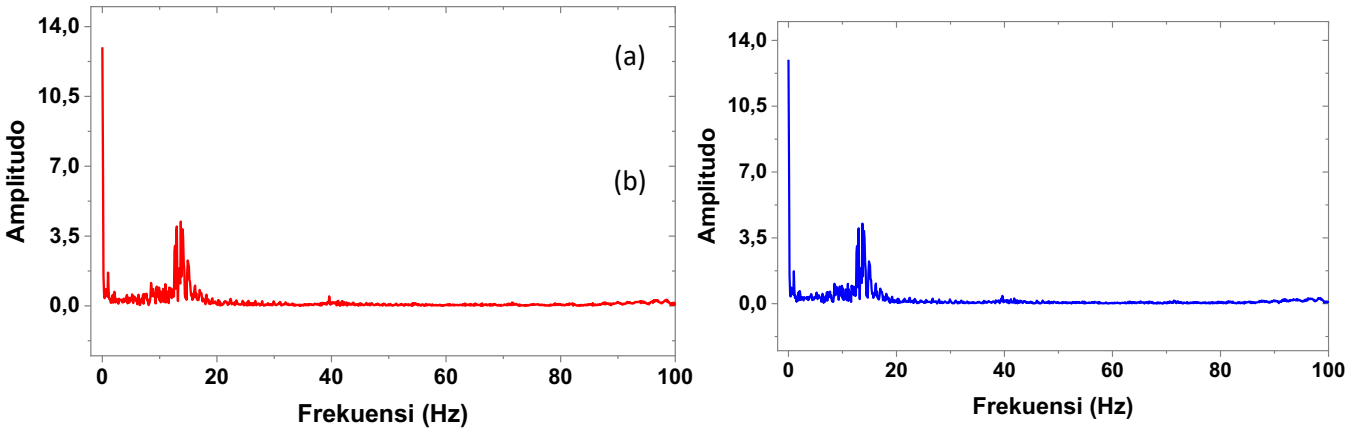
Gambar tersebut menampilkan data getaran blower ventilator 2 yang diperoleh dari dua sensor piezoelektrik, yaitu Sensor 1 (grafik a) dan Sensor 2 (grafik b). Masing-masing grafik menggambarkan hubungan antara amplitudo getaran (V) terhadap waktu (s) selama proses pengujian berlangsung selama ±20 detik.

Pada grafik (a) dengan warna merah, terlihat bahwa amplitudo getaran awal mencapai nilai puncak sekitar 70–80 V pada detik ke-0 hingga ke-3. Setelah itu, amplitudo menurun secara bertahap dan cenderung stabil di kisaran 10–30 V hingga akhir pengujian. Pola ini menunjukkan bahwa pada awal pengoperasian blower, terjadi lonjakan getaran yang cukup kuat akibat peningkatan kecepatan rotasi impeller dan turbulensi udara yang masih belum stabil. Setelah sistem mencapai kondisi kerja normal, getaran mulai menurun dan menjadi lebih seragam.

Sementara itu, grafik (b) berwarna biru yang mewakili Sensor 2 memperlihatkan tren yang serupa. Nilai amplitudo tertinggi juga muncul pada awal pengujian, sekitar 75–80 V, kemudian mengalami penurunan secara signifikan setelah detik ke-4 dan stabil di kisaran 10–25 V. Meskipun pola keduanya hampir sama, amplitudo Sensor 2 cenderung sedikit lebih halus, yang mengindikasikan bahwa posisi pemasangan sensor atau karakteristik getaran pada titik pengukuran tersebut memiliki respon mekanik yang lebih teredam dibanding Sensor 1.

Secara keseluruhan, kedua grafik menunjukkan bahwa sistem blower ventilator mengalami transien getaran tinggi pada fase awal operasi, yang kemudian berangsur stabil seiring dengan tercapainya keseimbangan aliran udara abrasif dan kecepatan rotasi kipas. Data ini menegaskan bahwa sensor piezoelektrik mampu mendeteksi perubahan dinamis amplitudo getaran secara akurat, baik pada fase awal maupun saat sistem mencapai kestabilan operasi.

### 3.2 Pengujian Sensor *Piezoelektrik* Hasil Proses *Fast Fourier Transfrom*



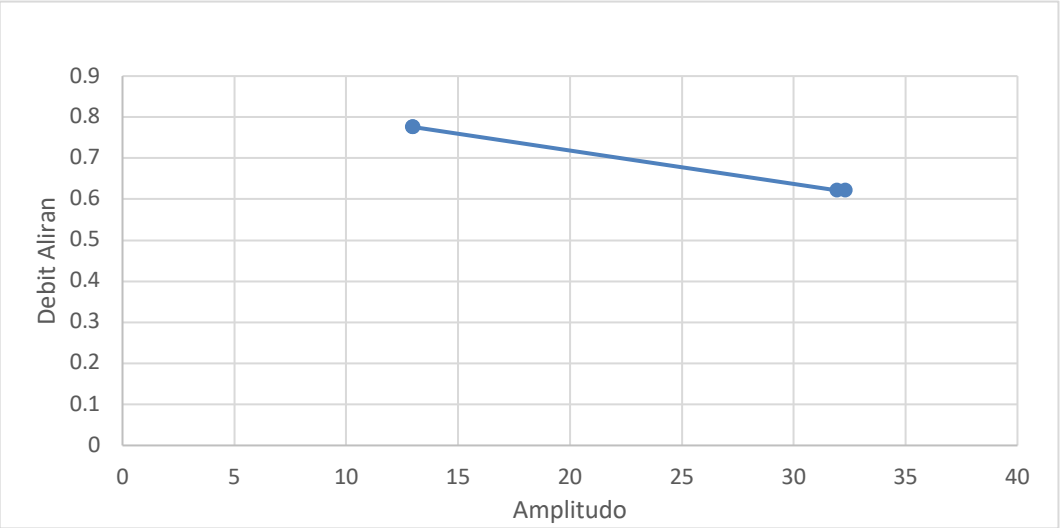

Gambar 5. Grafik Amplitudo Data Getaran Blower ventilator 2 (a) Sensor 1, (b) Sensor 2

Gambar tersebut menampilkan hasil analisis spektrum frekuensi getaran pada blower ventilator 2 yang diperoleh dari dua sensor piezoelektrik, yakni Sensor 1 (a) berwarna merah dan Sensor 2 (b) berwarna biru. Grafik ini menunjukkan hubungan antara amplitudo getaran terhadap frekuensi, yang menggambarkan karakteristik dinamika getaran sistem selama proses sandblasting. Berdasarkan hasil transformasi Fourier (FFT), kedua grafik memperlihatkan pola spektrum yang hampir serupa, di mana amplitudo tertinggi muncul pada frekuensi rendah antara 0 hingga 5 Hz, kemudian diikuti oleh puncak sekunder pada rentang 10 hingga 20 Hz, dan menurun secara signifikan setelah frekuensi melebihi 30 Hz.

Puncak amplitudo pada frekuensi rendah menunjukkan getaran fundamental yang berasal dari putaran utama impeller atau ketidakseimbangan poros blower. Pada tahap ini, nilai amplitudo mencapai sekitar 14 volt, yang menandakan bahwa getaran dominan terjadi akibat gerak rotasi utama sistem. Sementara itu, puncak pada frekuensi menengah (10–20 Hz) diinterpretasikan sebagai respon resonansi parsial yang dihasilkan oleh turbulensi udara abrasif di dalam saluran ventilator. Setelah melewati batas frekuensi 30 Hz, amplitudo cenderung stabil mendekati nol, menandakan bahwa tidak terdapat komponen getaran signifikan pada frekuensi tinggi dan sistem berada dalam kondisi operasi yang relatif stabil tanpa resonansi berlebih.

Jika dibandingkan, Sensor 1 menghasilkan amplitudo sedikit lebih tinggi dibandingkan Sensor 2. Perbedaan ini kemungkinan disebabkan oleh posisi pemasangan sensor yang berbeda terhadap sumber getaran. Sensor 1 diduga dipasang lebih dekat pada poros atau rumah bantalan blower, sehingga menerima energi getaran yang lebih besar, sedangkan Sensor 2 diposisikan pada bagian struktur yang lebih jauh dan mengalami peredaman alami dari material logam ventilator.

### 3.3 Pengaruh Frekuensi Getaran dan Amplitudo terhadap Laju aliran Blower ventilator




Gambar 6. Pengaruh amplitudo terhadap debit aliran

Blower ventilator pertama seperti pada gambar 6. menunjukkan nilai amplitudo FFT yang lebih tinggi pada sensor 1 dan sensor 2 yaitu 32,3mm dan 31,91mm dengan laju rata rata aliran sebesar 8,54 m/s, sedangkan blower ventilator kedua menunjukkan nilai amplitude FFT yang lebih kecil sebesar 12,98mm dan 12,96mm dengan laju rata rata aliran sebesar 10,66 m/s. Perbedaan laju aliran ini berhubungan dengan debit aliran yang dialirkan blower ventilator tersebut, blower pertama memiliki debit aliran yang lebih kecil yaitu 0,6217 m3/s sedangkan blower kedua memiliki debit aliran yang lebih tinggi sebesar 0,7760 m3/s. Fenomena ini menunjukkan bahwa tingginya frekuensi getaran dan amplitudo tidak selalu mengindikasikan kinerja aliran udara yang lebih optimal. Getaran yang terlalu besar dapat menjadi indikator adanya masalah mekanis pada blower ventilator, seperti ketidakseimbangan pada impeller, dan mechanical wear (Endriatno, 2021). Meskipun secara teoritis peningkatan frekuensi dan amplitudo dapat dikaikan dengan kenaikan energi mekanis yang lebih besar, dalam praktiknya hal ini justru dapat menyebabkan gangguan pada aliran fluida, yang berujung pada penurunan efisiensi dan performa kerja blower tersebut.

Amplitudo yang tinggi mengindikasikan bahwa komponen blower ventilator mengalami deviasi atau simpangan yang signifikan dari posisi keseimbangannya. Proses sandblasting mengeluarkan partikel abrasif yang dapat mempercepat terjadinya mechanical wear atau keausan mekanik, terutama pada bagian baling-baling dan dinding saluran udara. Saat amplitudo getaran tinggi berlangsung secara terus-menerus, beban kerja pada komponen meningkat dan menyebabkan deformasi atau keausan yang tidak merata. Hal ini mengganggu keseimbangan sistem, menghasilkan turbulensi dalam aliran, serta memperbesar kemungkinan terjadinya kebocoran udara atau penurunan tekanan. Akibatnya, laju aliran udara yang dihasilkan blower menjadi tidak optimal meskipun energi mekanik yang terlibat tampak besar.

Blower ventilator kedua yang memiliki frekuensi getaran dan amplitudo getaran lebih kecil menunjukkan kinerja yang lebih stabil dan efisien. Getaran yang lebih rendah mengindikasikan bahwa sistem blower berjalan dalam kondisi mekanis yang lebih baik dan lebih seimbang, sehingga tidak hanya mengurangi resiko kerusakan, tetapi juga memungkinkan aliran udara mengalir lebih lancar dengan hambatan minimal. Stabilitas getaran membantu menjaga bentuk dan posisi komponen tetap ideal selama proses sandblasting, yang pada akhirnya mendukung efisiensi sistem secara keseluruhan (Witanto et al., 2023). Amplitudo getaran yang besar bukan hanya tidak meningkatkan debit aliran, tetapi justru dapat menjadi indikator awal penurunan performa akibat keausan mekanik.

Rangkaian hasil penelitian berdasarkan urutan/susunan logis untuk membentuk sebuah penjelasan. Isi bab hasil dan pembahasan menunjukan fakta/data dan jangan diskusikan hasilnya. Dapat menggunakan Tabel dan Angka tetapi tidak menguraikan secara berulang terhadap data yang sama dalam gambar, tabel dan teks. Untuk lebih memperjelas uraian, dapat mengunakan sub judul. Hindari pengulangan penjelasan yang terlalu mendetail.

## 4. Kesimpulan

Hasil penelitian mengenai pengembangan sistem IoT dalam pemantauan frekuensi getaran dan amplitudo terhadap laju aliran udara abrasif pada blower ventilator dalam proses sandblasting menggunakan sensor piezoelektrik, dapat disimpulkan bahwa sistem ini dapat diterapkan secara efektif untuk memantau kondisi mesin secara real-time, dengan kemampuan sensor mendeteksi frekuensi getaran sebagai indikator adanya mechanical wear yang berdampak pada penurunan efisiensi aliran udara dan mengganggu proses sandblasting saat maintenance. Analisis data secara real-time juga menunjang efektivitas pemeliharaan dengan mempercepat proses identifikasi kerusakan dan mengurangi kebutuhan tenaga kerja. Nilai frekuensi getaran dan amplitudo yang tinggi dapat menjadi indikator awal terjadinya kerusakan pada blower ventilator, yang secara langsung memengaruhi laju aliran dan efisiensi kerja mesin

## Daftar Pustaka

[1] W. H. Afiva, F. T. D. Atmaji, and J. Alhilman, “Usulan Interval Preventive Maintenance dan Estimasi Biaya Pemeliharaan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance dan FMECA,” *J. Ilm. Tek. Ind.*, vol. 18, no. 2, pp. 213–223, 2019, doi: 10.23917/jiti.v18i2.8551.

[2] P. M. Negeri and B. Belitung, “KERUSAKAN PADA CONDENSATE PUMP DI PLTU Analysis of Vibration Signals to Detect Breakdown to the Condensate Pump in Oleh :”.

[3] T. Pipit Muliyah, Dyah Aminatun, Sukma Septian Nasution, Tommy Hastomo, Setiana Sri Wahyuni Sitepu, “済無No Title No Title No Title,” *J. GEEJ*, vol. 7, no. 2, pp. 12–15, 2020.

[4] H. A. Nicola, E. Ridwan, and G. Ramdlan, "Analisa Keandalan Chain Submerged Scraper Conveyor pada PLTU Menggunakan Metode RCM di PT . ABC," *Pros. Semin. Nas. Tek. Mesin Politek. Negeri Jakarta*, pp. 1529–1537, 2022.

[5] rahayu deny danar dan alvi furwanti Alwie, A. B. Prasetio, R. Andespa, P. N. Lhokseumawe, and K. Pengantar, "Tugas Akhir Tugas Akhir," *J. Ekon. Vol. 18, Nomor 1 Maret201*, vol. 2, no. 1, pp. 41–49, 2020.

[6] F. B. Dowst, "Fan Blowers," *J. Am. Soc. Nav. Eng.*, vol. 3, no. 4, pp. 473–482, 1891, doi: 10.1111/j.1559-3584.1891.tb03584.x.

[7] R. R. Rahmadani and C. Dewi, "Control of Buck Converter Using Artificial Neural Network," vol. 01, no. 01, pp. 13–20, 2024.

[8] B. R. Karki and J. Porras, "Digitalization for sustainable maintenance services: A systematic literature review," *Digit. Bus.*, vol. 1, no. 2, p. 100011, 2021, doi: 10.1016/j.digbus.2021.100011.

[9] Y. Wang, L. Qiu, Y. Luo, R. Ding, and F. Jiang, "A piezoelectric sensor network with shared signal transmission wires for structural health monitoring of aircraft smart skin," *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 141, p. 106730, 2020, doi: 10.1016/j.ymssp.2020.106730.

[10] D. R. Lekatompessy, C. C. Titiheru, and A. S. Titirloloby, "Bermaterial Fiber Reinforce Plastic Akibat Operasional Mesin Induk," *Semin. Nas. "ARCHIPELAGO Eng.*, vol. 3995, pp. 110–115, 2022.

[11] N.- Endriatno, "Analisis Getaran Akibat Massa Yang Tidak Seimbang Pada Motor Yang Berputar," *Din. J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 12, no. 2, p. 58, 2021, doi: 10.33772/djitm.v12i2.18225.

[12] A. Tauvana, F. Rachmanu, Widodo, L. Nulhakim, and Y. Mulyani, "Predictive Maintenance Mechanical Looseness Pada Poros Berputar Berbasis Lab View," *Ramatekno*, vol. 3, no. 1, pp. 1–9, 2023, doi: 10.61713/jrt.v3i1.66.

[13] Romdhoni, Mardiansyah, and H. Kusnadi, "Bearing Fault Detection Menggunakan Metode Wavelet Berbasis Labview," *Techné J. Ilm. Elektrotek.*, vol. 22, no. 1, pp. 49–58, 2023, doi: 10.31358/techne.v22i1.340.

[14] Harmiansyah, Kardiansyah, L. P. Afisna, T. M. I. Riayatsyah, and R. Efendi, "Efek kecepatan udara dan penambahan serbuk kayu terhadap kadar kelembapan kotoran sapi yang dikeringkan menggunakan mesin pengering tipe drum dryer," *J. Tek. Mesin Indones.*, vol. 18, no. 1, pp. 84–89, 2023, doi: 10.36289/jtmi.v18i1.413.

[15] F. Achmad *et al.*, "Efek laju alir dan arah aliran terhadap analisis performa alat penukar panas tipe shell and tube heat exchanger menggunakan SCADA," *J. Rekayasa Proses*, vol. 17, no. 2, pp. 148–157, 2023, doi: 10.22146/jrekpros.77376.

[16] I. P. Widiarta, M. Suarda, M. Sucipta, and I. G. K. Sukadana, "Simulasi CFD Pertukaran Udara di Ruang Tindakan Klinik Kesehatan," *J. METTEK*, vol. 8, no. 2, p. 83, 2022, doi: 10.24843/mettek.2022.v08.i02.p03.

[17] Y. Witanto, I. Amsah, D. Zukri, A. Nuramal, and M. K. A. Rosa, "Performance Analysis of Dual Fuel Diesel Generator with Variations in LPG Flow Rate and Air Hole Diameter," *SINTEK J. J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 17, no. 2, p. 102, 2023, doi: 10.24853/sintek.17.2.102-112.