

DESAIN PERANCANGAN *LOWCOST VIBRATION SENSOR* UNTUK PEMANTAUAN KONDISI BEARING PADA SISTEM ROTASI ANTENA RADAR

Firmansyah¹, Muhammad Ferry², Eka Sulistyawan³, Rakin Ghiyat⁴,
Rayhan Kemal⁵, Supriyanto⁶, Dion Mukdatas⁷

^{1,2}Departemen Elektronika, Akademi Angkatan Udara

³Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma;

^{4,5,6}National Air And Space Power Of Indonesia

^{1,2}firmansyah@aau.ac.id (correspondent); ^{3,4}mferryeka@gmail.com;

^{5,6,7}ikeo.santai@gmail.com;

Abstrak — Penelitian ini bertujuan untuk mendeteksi getaran *bearing* dalam mendukung kegiatan pemeliharaan berkelanjutan secara *real-time*, sebagai alternatif penggunaan sensor. Kinerja sistem radar sangat bergantung pada beberapa faktor, salah satunya pada fungsi mekanik yang bertumpu pada *bearing* untuk menopang antenna saat berputar. Adanya gangguan pada rotasi yang dapat disebabkan oleh kondisi *bearing* yang tidak baik akan menurunkan performa kinerja radar, bahkan dapat menyebabkan kegiatan operasional sistem berhenti secara keseluruhan. Oleh karenanya, pemantauan kondisi *bearing* menjadi hal penting untuk mendeteksi secara dini gejala kerusakan melalui analisis getaran dengan menggunakan sensor getaran. Penelitian ini menawarkan solusi *low cost vibration sensor* berbasis Arduino Nano dengan memanfaatkan akselerometer ADXL345 untuk mendeteksi getaran *bearing* dalam mendukung kegiatan pemeliharaan berkelanjutan secara *real-time*, sebagai alternatif penggunaan sensor getaran komersial yang mahal. Melalui desain perangkat keras berupa Arduino Nano dan sensor ADXL345, dilakukan pemrograman sistem untuk akuisisi data getaran, serta analisis data dalam domain waktu dan frekuensi menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT). Sensor tersebut diuji pada *bearing* antenna radar di salah satu satuan radar TNI AU, sehingga hasilnya dapat mensimulasikan baik kondisi normal, tidak seimbang (*unbalance*) maupun *misalignment*. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa dengan analisa yang tepat dan teliti menggunakan software Matlab, sistem mampu membedakan pola getaran antara kondisi normal dan abnormal dengan akurasi cukup baik. Kontribusi utama penelitian ini adalah pengembangan sistem sensor getaran yang efisien dengan harga terjangkau, mudah dibawa (*portable*) dan efektif diimplementasikan untuk pemantauan kondisi *bearing* pada sistem rotasi radar dengan harapan dapat menjadi dasar pengembangan sensor pada penerapan *Condition Based Maintenance* (CBM) untuk mendukung operasional radar.

Kata kunci: *Vibration Sensor, Bearing Radar, Maintenance*

Abstrak — This study aims to detect bearing vibrations in support of real-time ongoing maintenance activities, as an alternative to the use of sensors. The performance of a radar system is highly dependent on several factors, one of which is the mechanical function that relies on bearings to support the antenna when rotating. The presence of disturbances in rotation that can be caused by poor bearing conditions will reduce radar performance, and can even cause the system's operational activities to stop completely. Therefore, monitoring bearing conditions is important for early detection of damage symptoms through vibration

analysis using vibration sensors. This study offers a low-cost vibration sensor solution based on Arduino Nano by utilizing the ADXL345 accelerometer to detect bearing vibrations in support of real-time ongoing maintenance activities, as an alternative to the use of expensive commercial vibration sensors. Through the hardware design in the form of Arduino Nano and ADXL345 sensors, system programming is carried out for vibration data acquisition, as well as data analysis in the time and frequency domains using Fast Fourier Transform (FFT). The sensor was tested on a radar antenna bearing in one of the Indonesian Air Force radar units, so that the results can simulate both normal, unbalanced and misaligned conditions. Experimental results show that with precise and thorough analysis using Matlab software, the system is able to distinguish between normal and abnormal vibration patterns with considerable accuracy. The primary contribution of this research is the development of an efficient, affordable, portable, and effective vibration sensor system for monitoring bearing conditions in radar rotation systems. It is hoped that this will serve as the basis for developing sensors for Condition-Based Maintenance (CBM) applications to support radar operations.

Keywords: Vibration Sensor, Bearing Radar, Maintenance

1. PENDAHULUAN

Radar merupakan bagian dari alat utama sistem senjata (alutsista) yang sangat vital dalam penyelenggaraan operasi pertahanan udara. Di dalam sistem radar, terdapat sebuah mekanisme perputaran antena yang menurut prinsip kerja, kondisi tersebut berlangsung saat memancarkan gelombang untuk mendeteksi dan mengamati sasaran di udara. Perputaran antena melibatkan kinerja dari sistem yang dinamakan *bearing* (Baig, et al, 2018), yang bekerja secara terus-menerus selama operasi pengamatan udara, dimana dalam kondisi menerima beban mekanis mengakibatkan kerentanan akan penurunan kemampuan dan kondisi seiring berjalannya waktu. *Bearing* memainkan peran penting dalam memfasilitasi pengoperasian yang lancar dan efisien (Evan, 2024), yang apabila terjadi kerusakan dapat mengakibatkan perubahan perputaran antena, sehingga dapat berpotensi mengganggu akurasi penangkapan sinyal. Untuk mengatasi kondisi tersebut, metode pemeliharaan secara terjadwal (*time-based maintenance*) seringkali kurang efisien dan efektif karena tidak memper timbangkan kondisi peralatan secara aktual. Oleh karena itu, dibutuhkan pendekatan *condition-based maintenance* (CBM) yang mampu secara efektif memantau kondisi *bearing* secara *real-time* (Tszcheung, 2012) menggunakan *low-cost vibration sensor* yang terjangkau. Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji pemantauan kondisi bearing menggunakan sensor getaran seperti *accelerometer* berbasis *vibration based condition monitoring* untuk mendeteksi perubahan karakteristik getaran

(Barbini, et al, 2017). Meskipun terbukti efektif, biaya peralatan yang tinggi menjadi faktor yang perlu dipertimbangkan apabila sumber daya terbatas. Penelitian berbasis mikrokontroler seperti Arduino dan sensor akselerometer *low-cost* mulai dikembangkan pada sektor industri ringan, namun aplikasi spesifik pada sistem rotasi radar masih jarang dilakukan. Selain itu, sebagian penelitian hanya menampilkan data getaran tanpa integrasi penyimpanan data untuk analisis lanjutan. Gap inilah yang menjadi peluang untuk mengembangkan sistem pemantauan yang murah, mudah dioperasikan, namun tetap memiliki kemampuan analisis frekuensi dan deteksi dini kerusakan *bearing*. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem pemantauan kondisi *bearing* pada sistem rotasi radar menggunakan sensor getaran berbasis Arduino yang terjangkau (*low-cost*), dengan integrasi perangkat lunak sebagai cara visualisasi *real-time* dan penyimpanan data untuk selanjutnya dianalisa hasilnya. Sistem ini diharapkan mampu mendeteksi perubahan karakteristik getaran pada tiga axis (X, Y, Z) yang meng indikasikan adanya potensi kerusakan pada *bearing*. Pendekatan ini menawarkan solusi yang mudah diintegrasikan pada radar yang sudah ada, tanpa memerlukan modifikasi yang besar sehingga dapat mendukung strategi *predictive maintenance* yang lebih efisien dan ekonomis bagi pengelolaan peralatan radar.

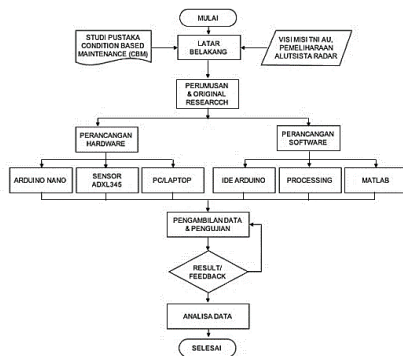
2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dimulai sesuai tahapan-tahapan yang telah direncanakan, diawali dengan

pembuatan *flowchart* dari proses pemeliharaan dengan pendekatan *condition-based maintenance* (CBM), melalui studi kelayakan. Diagram alir tersebut menunjukan kerangka berpikir dalam penelitian ini, yang merupakan penjabaran tahapan berupa langkah-langkah penelitian yang dilakukan oleh penulis (J. W. Creswell, 2014).

2.1 Desain Penelitian

Sebuah kerangka berpikir yang tertuang menjadi diagram alir (*flowchart*) penelitian ini dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Latar belakang dari penelitian ini berawal dari visi misi, adanya kemajuan teknologi dari lingkungan sekitar, serta kebijakan-kebijakan dari pimpinan, khususnya TNI AU. Tahapan selanjutnya adalah mencari referensi, untuk memperkuat landasan teori dalam menunjang kegiatan perancangan dan pengujian serta analisa yang akan dilakukan. Metode perumusan masalah digunakan untuk menentukan permasalahan yang akan dihadapi saat penelitian dilakukan, dengan menentukan beberapa pembatasan masalah agar tetap fokus dan tidak meluas. Sementara itu, peneliti mencari referensi berupa jurnal, buku atau artikel ilmiah yang pada umumnya dijadikan sebagai penelitian terdahulu yang terkait dengan judul penelitian penulis.

2.1.1 Perancangan Perangkat Keras

Perangkat keras dalam penelitian ini mempertimbangkan komponen yang mampu menghubungkan dan berintegrasi dalam mengukur, merekam, dan menganalisis sinyal getaran pada sistem *bearing*. Komponen inti yang digunakan terdiri dari sensor ADXL345 dan Arduino Nano, unit

bearing uji antenna radar (*existing installation*), serta perangkat PC/Laptop sebagai pusat pengolahan data. Setiap komponen memiliki fungsi yang saling melengkapi, sehingga dapat mendukung proses penelitian dan pengujian serta analisa, melalui data yang mengalir mulai dari sensor ADXL345 menuju Arduino Nano, untuk selanjutnya dikirim melalui komunikasi serial ke PC/Laptop. Sensor getaran ADXL345 merupakan akselerometer digital tiga axis yang mampu mendeteksi percepatan getaran mekanis dengan keunggulan pada dimensi kecil, konsumsi daya rendah, serta resolusi yang baik (Feriadi, 2017). Sensor ini diposisikan sedemikian rupa pada *housing bearing* sehingga mampu menangkap respon dari putaran dinamis. Penempatan sensor menjadi aspek penting, karena kualitas data sangat bergantung pada seberapa baik sensor mampu mendeteksi perubahan percepatan dari sistem rotasi. Selanjutnya data getaran yang ditangkap oleh sensor diteruskan ke mikrokontroler yang akan membaca data digital dari sensor. Arduino Nano dipilih karena ukurannya yang kecil, mudah diprogram, dan memiliki port komunikasi serial yang stabil. Selain itu, Arduino Nano mampu mengatur kecepatan sampling, untuk menjaga kualitas sinyal khususnya pada domain frekuensi. Setelah proses pembacaan, data tersebut dikirimkan secara serial ke perangkat PC/Laptop untuk dianalisa. Pada kondisi normal, *bearing* berputar dengan lancar tanpa gangguan, sedangkan pada kondisi kerusakan, dapat diberikan variasi berupa *unbalance* maupun *misalignment*. Kondisi tersebut didapat dari proses analisis perhitungan parameter statistik seperti RMS, *peak-to-peak*, *kurtosis* dan *skewness*. Dengan kata lain, PC tidak hanya berfungsi sebagai penerima data, tetapi juga sebagai laboratorium digital untuk mengevaluasi kondisi *bearing* lebih detail. Keseluruhan perancangan perangkat keras ini dilakukan secara bertahap, mulai perakitan komponen, pengujian komunikasi antar perangkat, hingga analisa sinyal sehingga dapat mendukung penelitian secara menyeluruh.

2.1.2 Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak disusun secara berlapis dengan memanfaatkan tiga platform utama, yaitu *Arduino IDE*, *Processing*, dan *Matlab*. Ketiganya dirancang agar mampu bekerja secara terpadu, mulai dari tahap akuisisi data di level sensor, visualisasi *real-time*, hingga analisis lanjutan. *Software Arduino IDE* digunakan untuk menuliskan program yang diunggah ke *Arduino Nano* (Gustomo, 2015), agar dapat membaca data percepatan getaran dari sensor *ADXL345*. *Software* ini merupakan jembatan awal antara perangkat keras dan perangkat lunak, memastikan bahwa data dari sensor dapat dikirimkan secara terstruktur menuju *PC*. *Software Processing*, yang berfungsi sebagai aplikasi visualisasi data *real-time* selanjutnya menerima data yang dikirimkan *Arduino* melalui komunikasi serial, kemudian menampilkannya dalam bentuk grafik getaran pada sumbu X, Y, dan Z. Visualisasi *real-time* yang dihasilkan *software* ini sangat penting sebagai monitoring awal, karena jika terjadi anomali, peneliti dapat langsung menghentikan atau mengatur ulang eksperimen. *Matlab* digunakan sebagai analisis lanjutan data sinyal getaran yang telah direkam dengan melakukan *command* untuk menghitung parameter statistik, di mana pola tertentu dapat menunjukkan adanya kondisi normal, *unbalance* atau *misalignment*. Secara keseluruhan, alur perangkat lunak ini merupakan proses berkesinambungan mulai *Arduino IDE* untuk akuisisi dan pengiriman data, *Processing* untuk visualisasi *real-time* dan *Matlab* untuk analisis detail. Hubungan antar *software* dirancang agar data tidak hanya mengalir tetapi juga diolah pada setiap tahap dengan fungsi berbeda. Kombinasi ketiga perangkat lunak ini memastikan penelitian berjalan sistematis, mulai dari pengumpulan data mentah hingga interpretasi ilmiah untuk mendeteksi kerusakan bearing.

2.1.3 Pengujian dan Analisa

Bagian ini merupakan proses yang dilakukan setelah melewati tahap peran

cangan dan implementasi alat. Proses pengujian alat dilakukan untuk melihat bagaimana kemampuan masing-masing rangkaian yang digunakan pada alat baik secara *hardware*, *software*, maupun secara fungsional alat. Berikutnya, akan dilakukan analisa terhadap hasil pengujian yang dilakukan. Apabila hasil keluaran pengujian sesuai dengan hasil yang diharapkan maka akan dilanjutkan dengan pembuatan kesimpulan. Diharapkan, hasil dari kesimpulan ini diharapkan mampu menjawab pertanyaan pada perumusan masalah.

2.2 Condition Based Maintenance (CBM)

Condition Based Maintenance (CBM) adalah kegiatan pemeliharaan berdasarkan pada pendekatan bagaimana kondisi peralatan yang sebenarnya (Koons-Stapf, Amanda, 2015), bukan pada jadwal waktu tertentu. Konsep ini menekankan pemanfaatan kondisi aktual untuk menentukan kapan perawatan perlu dilakukan, dimana keputusan diambil ketika tingkat kerusakan mencapai ambang batas yang ditetapkan (Jonge, et al, 2013). Dalam konteks radar, CBM pada *bearing* rotasi antenna memungkinkan operator mendeteksi tanda awal kerusakan sebelum kegagalan total terjadi. Dengan demikian, CBM meningkatkan efisiensi saat dilakukan kegiatan pemeliharaan, mengurangi *down time*, serta memperpanjang umur pakai sistem radar.

2.3 Instrumen Penelitian

Penelitian ini menggunakan beberapa instrument, baik perangkat keras maupun perangkat lunak. Beberapa yang akan dibahas adalah radar, bearing, perangkat keras dan lunak alat yang dirancang yang akan dijelaskan sebagai berikut:

2.3.1 Radar

Radar (*Radio Detection and Ranging*) merupakan sistem yang menggunakan gelombang elektromagnetik untuk mendeteksi, menentukan jarak, kecepatan, dan arah objek. Komponen utama radar meliputi pemancar (*transmitter*), antenna, penerima (*receiver*), serta unit pemrosesan sinyal. Pada radar dengan antenna berotasi, keber

langsungan rotasi yang stabil sangat penting karena berpengaruh pada kualitas cakupan area deteksi. Gangguan mekanis pada sistem rotasi, khususnya *bearing*, dapat mengakibatkan getaran berlebih yang berdampak pada degradasi performa radar. Oleh karena itu, sistem pemantauan kondisi bearing menjadi aspek vital dalam menjaga kehandalan radar.



Gambar 2. Rotary Actuator Platform

2.3.2 Bearing

Bearing adalah komponen mekanik yang berfungsi menopang beban rotasi dan memungkinkan gerakan berputar dengan gesekan minimal. Pada sistem radar, bearing digunakan untuk mendukung rotasi antenna dengan kecepatan konstan dan stabil. Kerusakan pada bearing umumnya terjadi akibat keausan, *misalignment*, *unbalance*, atau *defect* pada *raceway* dan *rolling element*. Kerusakan tersebut menghasilkan pola getaran khas yang dapat dideteksi menggunakan sensor getaran. Deteksi dini kerusakan bearing memungkinkan dilakukan pemeliharaan prediktif sehingga menghindari kegagalan sistem radar secara tiba-tiba.



Gambar 3. Antena SSR Radar Weibel

2.3.3 Arduino Nano

Arduino Nano merupakan mikrokontroler berbasis ATmega328P yang berukuran kecil, hemat energi, dan banyak digunakan untuk aplikasi sistem *embedded*. Keunggulannya meliputi harga murah, konsumsi daya rendah, kemudahan integrasi dengan berbagai sensor, serta dukungan komunitas yang luas. Arduino Nano dilengkapi dengan 14 pin digital input/output, 8 pin analog input, serta konektivitas USB untuk pemrograman. Kemampuan ini menjadikan

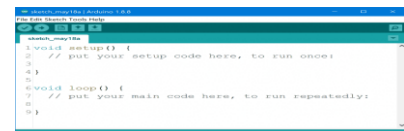
nya pilihan ideal untuk sistem pemantauan getaran yang portabel dan *low-cost*.



Gambar 4. Arduino Nano

2.3.4 Arduino IDE

Arduiono IDE (*Integrated Development Environment*) merupakan aplikasi bersifat *open source* yang digunakan untuk membuat kode program yang nantinya akan di upload ke Arduino Nano, dengan *compiler* dalam bahasa C atau C++ (Kuriando et al., 2017). Dalam penelitian ini, Arduino IDE digunakan untuk memprogram Arduino Nano agar mampu membaca data sensor ADXL345, melakukan akuisisi data, serta mengirim kan data ke perangkat eksternal untuk analisis lebih lanjut



Gambar 5. Tampilan software Arduino IDE

2.3.5 ADXL345

ADXL345 adalah sensor akselerometer 3-axis yang dapat menampilkan, mengolah dan mengukur data dengan akurasi sangat baik (Feriadi dkk, 2017). Sensor ini mampu mengukur percepatan statis maupun dinamis, sehingga sangat cocok digunakan untuk deteksi getaran. Pada aplikasi pemantauan *bearing*, data dari ADXL345 digunakan untuk mengidentifikasi perubahan karakteristik getaran yang menunjukkan kondisi kerusakan.



Gambar 6. Sensor ADXL345

2.3.6 PROCESSING

Processing merupakan perangkat lunak open-source yang digunakan untuk visualisasi data. Dalam penelitian ini, Processing digunakan sebagai antarmuka grafis (GUI) untuk menampilkan sinyal getaran secara real-time. Kombinasi Arduino Nano, sensor ADXL345, dan Processing memungkinkan

sistem low cost untuk monitoring kondisi bearing dengan tampilan yang mudah dipahami.



Gambar 7. Software Aplikasi Processing

2.3.6 MATLAB

Matlab adalah perangkat lunak komputasi numerik yang banyak digunakan dalam penelitian teknik, khususnya untuk analisis sinyal dan data. Salah satu fitur penting Matlab adalah *Fast Fourier Transform* (FFT), yang digunakan untuk mengubah sinyal getaran dari domain waktu ke domain frekuensi. Dengan demikian, pola frekuensi tertentu yang berkaitan dengan kerusakan bearing dapat diidentifikasi. Dalam penelitian ini, Matlab digunakan untuk analisis lebih lanjut dari data getaran yang diperoleh, melengkapi fungsi real-time monitoring yang dilakukan dengan *Processing*.



Gambar 8. Software MATLAB (online access at <https://matlab.mathworks.com>)

2.4 Teknik Analisis

Teknik analisis dilakukan melalui kegiatan pengujian data sinyal getaran dari hasil sensor ADXL345, untuk selanjutnya dianalisis apakah kondisinya normal, yang berarti *bearing* berputar dengan lancar tanpa gangguan, atau pada kondisi terdapat kerusakan, dengan ditunjukkan adanya variasi getaran yang berarti pada kondisi *unbalance* maupun *misalignment*. Data yang menunjukkan kondisi tersebut didapat dari proses analisis perhitungan parameter statistik seperti RMS, *peak-to-peak*, kurtosis dan *skewness*.

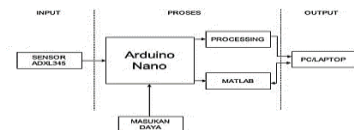
3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menjelaskan tentang desain perancangan "*low-cost vibration sensor*" untuk pemantauan kondisi bearing pada sistem rotasi antenna radar dengan menggunakan Arduino Nano sebagai mikro

kontroler, ADXL345 sebagai sensor getaran, serta software pengolahan data dan analisa seperti *Processing* dan *Matlab*, yang dapat dijelaskan melalui blok diagram perancangan dan diagram alir (*flowchart*).

3.1 Diagram Blok Sistem

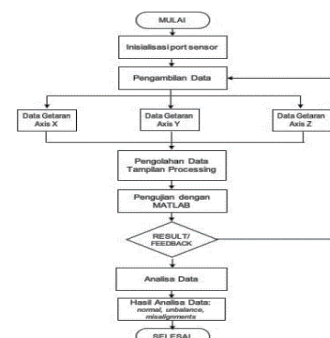
Cara kerja perancangan alat diberikan pada blok diagram berikut, terdiri dari bagian input, proses dan output untuk memberikan gambaran yang mudah dipahami dari alat yang dirancang sehingga dapat berfungsi sesuai dengan yang dikehendaki.



Gambar 9. Blok Diagram Alat

3.2 Diagram Alir (Flowchart)

Pada bagian ini akan diberikan penjelasan terkait dengan diagram alir (*flowchart*) cara kerja sistem, untuk memberikan gambaran bagaimana cara sistem alat pada penelitian dan perancangan akan bekerja dari awal hingga akhir. *Flowchart* ini memberi gambaran cara kerja sistem alat secara umum, yang dapat dijelaskan pada gambar berikut.



Gambar 10. Diagram Alir Alat

3.3 Wiring Diagram Alat



Gambar 11. Wiring Diagram Low-Cost Vibration Sensor

3.4 Pemrograman Pada IDE Arduino

Program Arduino IDE dibuat agar dapat membaca percepatan tiga sumbu dari

sensor ADXL345 dan mengirimkan data ke komputer serta menyimpannya ke dalam format CSV. Pengaturan komunikasi serial ditentukan pada 115200 bps dan data getaran diambil dengan tingkat presisi berupa angka dengan tiga digit di belakangnya. Penundaan waktu sebesar 50 ms diberikan untuk menghasilkan laju *sampling* sekitar 200 Hz, sehingga memungkinkan pemantauan dan perekaman getaran secara *real-time* untuk analisis lanjutan menggunakan software Matlab di PC/Laptop.



Gambar 12. Pemrograman pada Arduino IDE

3.5 Pemrograman Software Processing

Program Processing ini menampilkan dan merekam data getaran tiga sumbu yang dikirim Arduino melalui *port serial*, dalam hal ini diatur dengan kecepatan bit yang sama (115200 bps) ke port yang ditentukan. Melalui software ini akan dapat divisualisasikan dalam bentuk sinyal secara *real-time*.



Gambar 13. Pemrograman pada Processing

3.6 Bahasa Pemrograman Matlab

Matlab digunakan untuk menganalisa data getaran yang telah disimpan dalam format CSV. Proses dimulai command `>>clc; clear; close all;` untuk memastikan tidak ada lagi variabel yang memengaruhi perhitungan saat membaca data file tersebut. Tahap berikutnya menghitung parameter statistik utama, berupa *root mean square* (RMS), *peak-to-peak*, kurtosis dan *skewness*, agar dapat memberikan gambaran karakteristik sinyal. Analisis frekuensi dengan menerapkan *Fast Fourier Transform* (FFT) dilakukan untuk memperoleh spektrum amplitudo masing-masing file, sehingga memungkinkan dapat mendeteksi adanya kerusakan mekanis pada bearing. Dengan alur ini, program tidak hanya membandingkan kondisi getaran secara kuantitatif, tetapi juga untuk menyediakan dokumentasi untuk

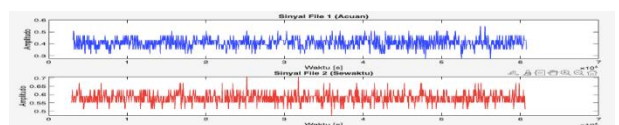
analisis lanjutan dan pelaporan ilmiah di masa mendatang.

3.7 Hasil Penelitian

Hasil penelitian dan pembahasan diberikan melalui kegiatan pengujian yang dilakukan pada sistem perancangan alat. Tujuannya adalah untuk mengetahui hasil dari pengujian sensor ADXL345 yang diintegrasikan dan diprogram oleh Arduino Nano, sehingga dapat diketahui apabila ada komponen yang tidak dapat bekerja dengan baik.

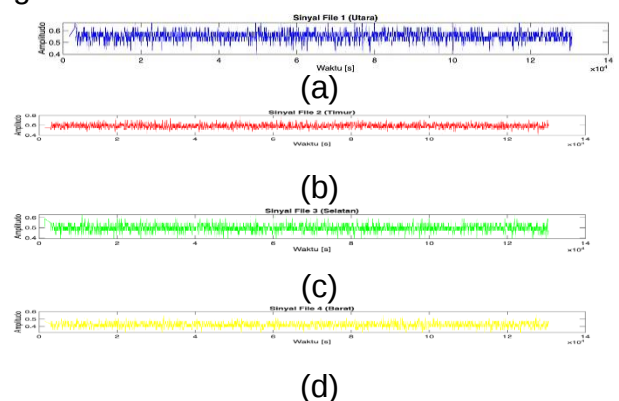
3.8 Hasil Pengujian Dengan Matlab

Hasil pengujian dilakukan menggunakan software Matlab untuk mengetahui bagaimana getaran yang dideteksi oleh sensor divisualisasikan dalam bentuk sinyal. Pengujian pertama dilakukan selama 1 menit sebanyak tiga kali, pada antenna radar SSR dengan putaran 6 rpm, di satuan radar 215 Congot dengan hasil seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 14. Hasil Sinyal Getaran Sensor bearing radar SSR Satrad 215

Pengujian kedua dilakukan selama 2 menit sebanyak empat kali pada posisi yang berbeda, di kedudukan antenna radar PSR dengan putaran 6 rpm untuk mendeteksi getaran yang diharapkan berasal dari perputaran bearing, di satuan radar 211 Tanjung Kait dengan hasil seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 15. Hasil Sinyal Getaran Sensor bearing radar PSR Satrad 211

(a) Sisi Utara (b) Sisi Timur (c) Sisi Selatan (d) Sisi Barat

3.9 Analisa Karakteristik Sinyal Getaran

Pengujian karakteristik sinyal dilakukan untuk mendeteksi beberapa parameter, namun difokuskan RMS (*root mean square*), *peak to peak* tegangan, kurtosis dan *skewness* yang dianggap dapat menentukan kondisi bearing apakah dalam kondisi normal, *unbalance* ataupun *misalignment*. Pengujian pertama dan kedua didapatkan kondisi parameter sebagai berikut:

3.9.1. Parameter Getaran Sinyal Antena SSR

```
== Parameter File 1 ==
RMS      : 0.4104
Peak2Peak : 0.2740
Kurtosis  : 2.9127
Skewness  : 0.0039
```

```
== Parameter File 2 ==
RMS      : 0.5815
Peak2Peak : 0.2350
Kurtosis  : 3.1951
Skewness  : 0.2901
```

3.9.2. Parameter Getaran Sinyal Antena PSR

```
== Parameter File 1 ==      == Parameter File 3 ==
RMS      : 0.5556           RMS      : 0.4989
Peak2Peak : 0.2360         Peak2Peak : 0.2360
Kurtosis  : 3.3266         Kurtosis  : 3.1258
Skewness  : -0.2274        Skewness  : -0.0183

== Parameter File 2 ==      == Parameter File 4 ==
RMS      : 0.5895           RMS      : 0.4232
Peak2Peak : 0.3140         Peak2Peak : 0.2350
Kurtosis  : 2.8174         Kurtosis  : 2.9813
Skewness  : 0.1552         Skewness  : -0.0439
```

Tabel 1. Parameter Statistik Kondisi Bearing

Parameter	Kondisi Normal	Kondisi Unbalance	Kondisi Misalignment
RMS	rendah (<1)	naik signifikan (misal 2-5x)	lebih moderat dibanding <i>unbalance</i>
Peak-to-Peak	rendah, tidak banyak lonjakan	muncul lonjakan berkala	ada lonjakan periodik
Kurtosis	sekitar 3, kadang lebih kecil (2.5-3.5)	meningkat (>3 hingga 4-6)	bisa meningkat, tergantung derajat <i>misalignment</i>
Skewness	mendekati 0 (simetris)	bisa positif, negatif sesuai arah <i>unbalance</i>	nilai positif atau negatif yang lebih besar

4. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

- Untuk merancang sistem pemantauan kondisi bearing berbiaya rendah, penelitian ini menggunakan sensor getaran berbasis Arduino Nano yang di implementasikan pada sistem *bearing* rotasi antena radar. Desain alat pada

penelitian ini mampu merekam dan meng analisis sinyal getaran secara *real-time*, menghasilkan parameter statistik utama seperti RMS, *peak-to-peak*, kurtosis dan *skewness* sebagai indikator kondisi *bearing*. Hasil peng ujian terhadap alat yang dibuat mampu menunjukkan adanya perbedaan pola sinyal, kenaikan nilai RMS, kurtosis dan *skewness* yang pada akhirnya akan mengilustrasikan kondisi bearing apakah dalam kondisi normal, *unbalance*, dan *misalignment*.

- Dibandingkan metode pemantauan peeliharaan yang menggunakan sensor pada tingkat industri, rancangan ini menawarkan akurasi yang memadai dengan biaya komponen yang jauh lebih rendah, sehingga dapat diterapkan untuk mendeteksi potensi kerusakan *bearing* pada antena radar. Ke depan, pengembangan dapat diarahkan pada Analisa yang lebih mendalam dan lebih komprehensif, serta dapat menggunakan konektivitas IoT (*Internet of Things*) untuk dapat dilakukan secara *wireless*, tanpa harus menggunakan kabel sebagai komunikasi pengiriman data.

5. REFERENCES

- [1] Baig, Nauman & Malik, Mohammad. (2018). *Antenna Rotation Effects and its Compensation in Radar Signal Processing*. *Journal of Communications*. 13.540-545.10.12720/jcm.13. 9.540-545.
- [2] Barbini L, Ompusunggu AP, Hillis AJ, du Bois JL & Bartic A. (2017). *Phase editing as a signal pre-processing step for automated bearing fault detection*. *Mechanical Systems and Signal Processing*
- [3] Creswell, J. W. (2014). *Research design: qualitative, quantitative, and mixed methods approach*. 4th ed. Thousand Oaks, California, SAGE Publications

doi:10.12962/j23373539.v10i2.72970.

- [4]Evan. (2024). *How to Prevent Bearings from Overheating: A Comprehensive Guide*.<https://fhdbearings.com/blog/prev ent-bearings-from-overheating/>
- [5]Feriadi, Indra & Aswin, Fajar & Nugraha, Muhammad. (2017). Analisis Sistem Pengukuran Getaran Mems Accelerometer ADXL345. *Manutech Jurnal Tekno logi Manufaktur*. 09. 63-67.10.335 04/ manutech.v9i02.48.
- [6]Gustomo, B. (2015). *Pengenalan Arduino Dan Pemrogramannya*. Bandung: Infor matika Bandung
- [7]Ho, tszcheung.(2012). *An overview of time-based and condition-based mainte nance in industrial application q*. <https://doi.org/10.1016/J.CIE.2012.02.002>
- [8]Jonge B., Teunter R, Klingenberg W. and Tinga W. T. (2013). *A comparison of time-based maintenance and condition-based maintenance. University of Gron ingen The Netherlands*. https://www.rug.nl/cope/docs/cope_dejonge.pdf
- [9]Koons-Stapf, Amanda. (2015). *Condition Based Maintenance: Theory, Methodo logy, & Application*.
- [10]Michael Bragg (2002-05-01). *RDF1: The Location of Aircraft by Radio Methods 1935-1945*. Twayne Publis hers. ISBN 978-0- 9531544-0-1.
- [11]Penley,Bill and Jonathan Penley, *Early Radar Historyan Introduction* 2002.
- [12]Pub 1310 *Radar Navigation and Maneuvering Board Manual, National Imagery and Mapping Agency, Be thesda, MD 2001 (US govt publi cation intended to be used primarily as a manual of instruction in navigation schools and by naval and merchant marine personnel)*
- [13]Peraturan Radio ITU,Bagian IV.Sta siun Radio dan Sistem–Pasal 1.101, definisi: radar primer.
- [14]Philbin,Tom.2005.100 Penciptaan Ter besar Sepanjang Masa. Batam: Kharis ma Publishing.
- [15]Peter S. Hall (March 1991). *Radar*. Potomac Books Inc. ISBN 978-0-08-037711-7.
- [16]Radar Pengawasan Sekunder dalam Sistem ATC: Penjelasan tentang ke untungan dan implikasi bagi pengan dali dari pengenalan fasilitas SSR Teknik Pesawat Udara dan Teknologi Dirgan tara diperoleh pada 2009-06-20.
- [17]R. V. Jones (August 1998). *Most Secret War*. Wordsworth Editions Ltd. ISBN 978-1-85326-699-7.
- [18]Raemer,Harold R.1997. *Radar Sys tems Principles*.Florida:CRC Press LLC
- [19]Reg Batt (1991). *The radar army: win ning the war of the airwaves*. ISBN 978-0-7090-4508-3.
- [20]Robert Buder (1996). *The invention that changed the world: how a small group of radar pioneers won the Second World War and launched a techno logical revolution*. ISBN 978-0-684-81021-8.
- [21]Sinaryuda. (2017). "Mengenal Aplikasi Arduino Ide Dan Arduino Sketch". Sinaryuda Web Site. <https://www.Sinar yuda.web.id/microcontroller/mengenal aplikasi-Arduino-ide-dan-Arduino-sketch.html>
- [22]Sistem Pengawasan Layanan Lalu Lintas Udara, Termasuk Penjelasan Radar Primer dan Sekunder www.Air waysmuseum.com.pada 2009-06-20.
- [23]Skolnik,Merrill.1990.*Radar Hand book Second Edition.United States: McGraw-Hill,Inc.*

- [24] Swords, Seán S., *Technical History of the Beginnings of Radar, IEE History of Technology Series, Vol. 6, London: Peter Peregrinus, 1986.*
- [25] Telford, W. M.; Geldart, L. P.; Sheriff, R. E. *Applied Geophysics. Cambridge: Cambridge University Press. hlm. 62 135. ISBN 9781139167932.*
- [26] Wickens, Christopher D. 1998 *The Future of Air Traffic Control: Human Operators and Automation. Washington DC: National Academy Press EY6016.*
- [27] Younghusband, Eileen., *Not an Ordinary Life. How Changing Times Brought Historical Events into my Life, Cardiff Centre for Lifelong Learning, Cardiff, 2009., ISBN 978-0-9561156-9-0 (Pages 36–67 contain the experiences of a WAAF radar plotter in WWII.)*
- [28] Younghusband, Eileen., *One Woman's War. Cardiff. Candy Jar Books. 2011. ISBN 978-0-9566826-2-8*