REKAYASAMESIN
eISSN 2477-6041 artikel 3, pp. 21 - 29, 2020

V11 N1

# DESAIN DAN PEMBUATAN ALAT *MONITORING* KERUSAKAN MESIN BERDASARKAN LEVEL GETARAN

**Dedi Suryadi**
Universitas Bengkulu
Jurusan Teknik Mesin
dedi_suryadi@unib.ac.id

**M. Dicky Pratama**
Universitas Bengkulu
Jurusan Teknik Mesin
pratamamdicky@gmail.com

*In industry, vibration frequently occurs on rotating machines. In case of vibration level, it can cause damage to machines. Therefore vibration level should be continuously checked by using a predictive maintenance method in order to prevent the severe fault. In this study, a vibration monitoring tool with short message service (SMS) will be manufactured. This tool consists of a vibration sensor, controller, data acquisition, and provides both monitoring and warning systems in a remote area. An accelerometer is used as a vibration sensor placing on a bearing housing. Here, a designed tool is applied to machines with several conditions, namely normal, unbalance, and mechanical looseness. The rotational speed of the motor is varied at 1000 rpm, 1500 rpm, and 2000 rpm. Moreover, the warning system will be active by sending SMS to the operator when the vibration level is higher than one of ISO 2372. Validation is done by comparing the designed tool and standard tool. Finally, the results show that the designed tool can be effectively used for vibration measurement because it has an error of less than 3.5%, and the warning system through SMS is also running well with a delivery time of fewer than 5.5 seconds.*

***Keywords:*** *Vibration Level, Predictive Maintenance, Monitoring Tool, Short Message Service*

## 1. PENDAHULUAN

Mesin-mesin rotasi di industri sering mengalami getaran. Level getaran yang berlebih pada mesin mengindikasikan adanya kerusakan komponen mesin[1,2]. Apabila getaran berlebih ini tidak ditindaklanjuti, maka mesin akan mengalami kerusakan yang lebih parah. Agar dapat bekerja secara optimal, maka mesin memerlukan pemeliharan atau perawatan (*maintenance*). *Predictive maintenance* merupakan salah satu perawatan yang dapat dilakukan dengan cara memantau kondisi getaran yang ditimbulkan dari mesin tersebut.

Cara yang dapat dilakukan untuk menanggulangi kerusakan pada mesin salah satunya adalah dengan menganalisis level getaran mesin berupa nilai amplitudo kecepatan getaran[3]. Melalui pengukuran nilai level getaran dapat diketahui apakah bantalan pada mesin layak digunakan atau tidak. Permasalahn atau jenis kerusakan mesin yang dapat dideteksi berdasarkan sinyal getaran adalah *unbalance*[4], kelonggaran[1], *misalignment*[5], kerusakan bantalan [2, 6, 7-9] dan kerusakan pada pompa[10]. Identifikasi kerusakan mesin juga dapat dilakukan menggunakan sistem pakar dengan metode *certainty factor* [1]. Identifikasi ini dilakukan dengan cara melihat gejala-gejala yang ditimbulkan mesin kemudian dianalisis melalui sebuah aplikasi. Selain faktor getaran, kerusakan pada mesin juga dapat diidentifikasi dengan besarnya konsumsi listrik [11].

Pemantauan yang dilakukan melalui pengukuran atau analisis sinyal getaran belum terlalu efektif. Hal ini disebabkan pemantauan tidak bisa dilakukan secara terus menerus dan tidak dapat memberikan informasi apakah kondisi mesin mengalami gangguan sebelum dilakukan pendeteksian. Oleh karena itu, perlu adanya suatu alat yang dapat memantau kondisi mesin secara terus menerus dan memberikan informasi peringatan kondisi mesin berdasarkan level getaran yang ditimbulkan.

Beberapa alat pengukur level getaran telah banyak dibuat peneliti sebelumnya. Alat yang dibuat yaitu alat ukur level getaran yang menggunakan senor MEMS (*Micro Electro Mechanical System*) akselerometer [12]. Data hasil pengukuran kemudian diplot ke *software* Megunolink untuk melihat respon getaran yang ditimbulkan[13]. Alat lain yang telah dibuat menggunakan sensor ADXL345 untuk melihat respon getaran pada mesin melalui sinyal domain frekuensi yang dihasilkan[14]. Alat pengukur getaran menggunakan sensor ADXL335 juga telah dibuat, untuk menampilkan sinyal domain frekuensi getaran melalui

Corresponding Author: dedi_suryadi@unib.ac.id Received on: June 2019 Accepted on: February 2020

MATLAB[15].

Berdasarkan beberapa alat yang telah dibuat, maka dapat dijadikan referensi untuk melakukan penelitian mengenai pembuatan alat pemantau kerusakan mesin berdasarkan level getaran. Alat ini mempunyai perbedaan dari alat sebelumnya yang telah dibuat yaitu, memiliki suatu modul yang dapat memberikan pesan peringatan kepada operator apabila mesin mengalami getaran yang tidak wajar. Alat ini akan mengirim pesan singkat atau SMS (*Short Message Service*) kepada operator apabila kondisi mesin menimbulkan getaran yang sudah berada diatas batas level getaran mesin yang diperbolehkan. Getaran yang ditimbulkan mesin akan dibaca menggunakan sensor getaran berbasis mikrokontroler. Informasi yang diberikan melalui SMS merupakan sebuah pesan peringatan yang diberikan kepada operator, bahwa mesin memiliki getaran di atas batas standar keamanan. Alat ini diharapkan dapat mempermudah pengecekan dan pemantauan kondisi mesin agar selalu dalam kondisi optimal. Mesin yang memilki kondisi optimal akan memperlancar proses produksi dari suatu perusahaan tersebut.

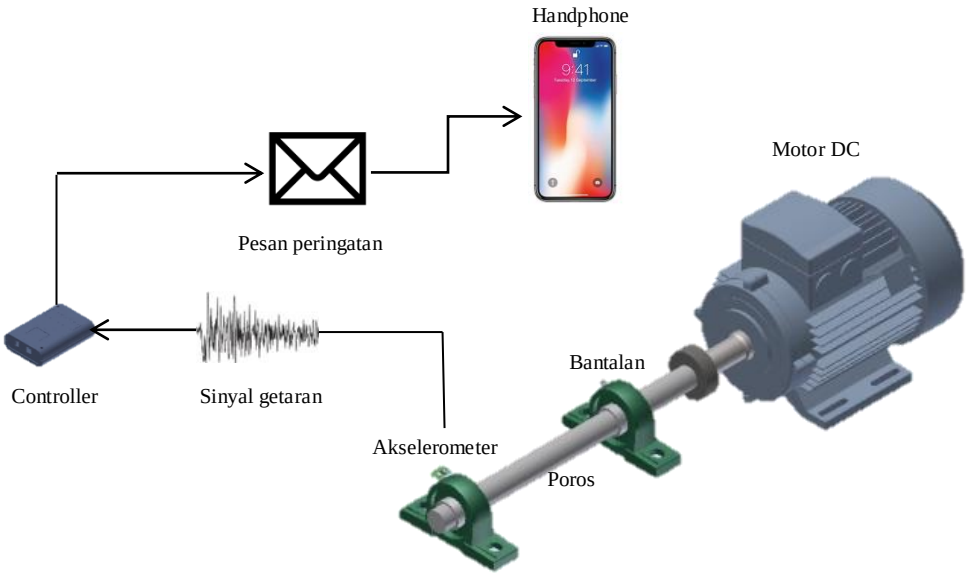
## 2. METODE

### 2.1 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui dua tahapan, yaitu perancangan rangkaian sistem dan perancangan program sistem dari alat *monitoring* yang dibuat. Perancangan pertama yang dilakukan yaitu perancangan sistem pengukuran getaran. Nilai respon getaran yang didapat dari alat yang dibuat dibandingkan terlebih dahulu dengan alat ukur getaran standar. Apabila nilai respon getaran yang didapat telah mendekati sama dengan alat ukur standar, maka sistem pengukuran getaran telah berhasil dibuat. Perancangan selanjutnya adalah perancangan sistem RTC (*Real Time Clock*) dan perancangan penyimpanan data. Langkah selanjutnya adalah melakukan perancangan SMS peringatan. Hal terakhir yang dilakukan adalah melakukan pengujian keseluruhan sistem yang telah dibuat untuk memastikan alat *monitoring* dapat bekerja sesuai perintah yang dibuat.

### 2.2 Perancangan Alat

Alat *monitoring* dirancang menggunakan Arduino UNO sebagai mikrokontroler, modul SIM900A sebagai pengirim informasi peringatan, modul SD *card* untuk menyimpan data hasil pengukuran dan ADXL345 sebagai akselerometer untuk mengukur getaran dari mesin. Skema pengujian alat yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.

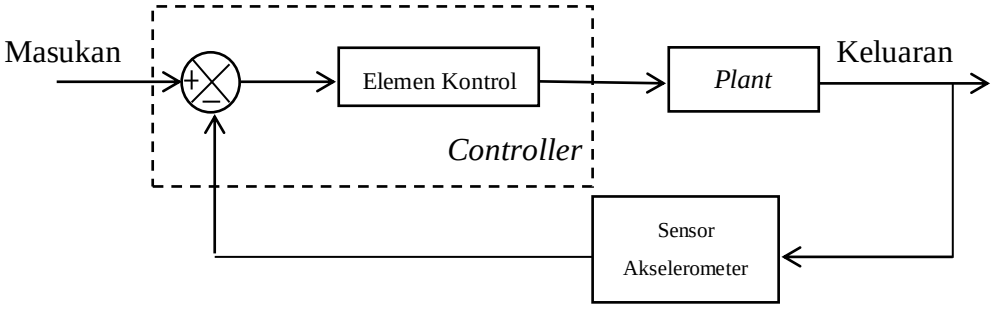



**Gambar 1**. Skema Pengujian Alat

Gambar 1. Menunjukkan skema dari pengujian alat *monitoring* yang dibuat. Sensor akselerometer dipasang pada bantalan. Sensor akselerometer akan membaca respon dari getaran yang ditimbulkan oleh mesin. Alat monitoring akan memproses pembacaan getaran dan menyimpan semua data yang terbaca. Apabila

getaran yang ditimbulkan oleh mesin telah melewati batas aman, maka alat *monitoring* akan segera mengirimkan pesan peringatan ke telepon seluler (*handphone)* operator mesin.

Sistem yang ada pada alat monitoring dirancang sesuai dengan diagram blok yang dapat dilihat pada Gambar 2.

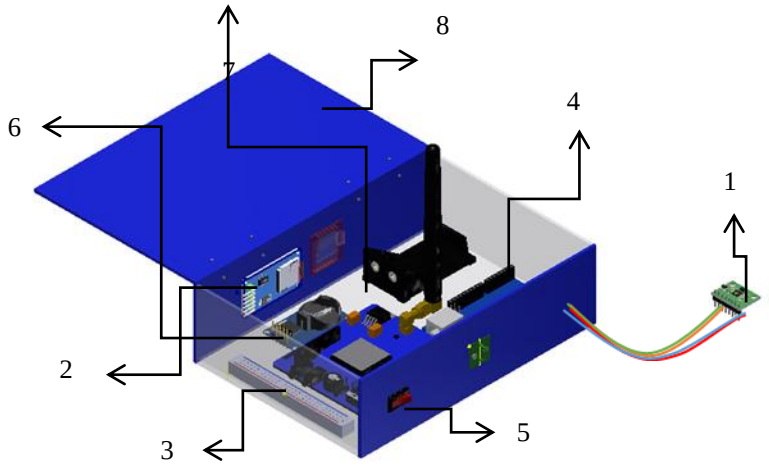



**Gambar 2**. Blok Diagram Sistem Alat *Monitoring*

Masukan merupakan respon getaran yang diterima oleh *controller*. Respon getaran yang terbaca akan diproses didalam *controller* dengan sensor akselerometer sebagai pembaca nilai getaran. Plant merupakan sumber getaran yang akan dibaca. Keluaran merupakan pesan peringatan yang akan dikirmkan apabila mesin mengalami gangguan yang menyebabkan getaran berlebih.

**a. *Controller***

*Controller* merupakan bagian inti dari alat *monitoring level* getaran mesin. *Controller* tersusun oleh Arduino sebagai mikrokontroler,ADXL345 sebagai sensor pembaca respon getaran, DS3231 sebagai modul RTC (*Real Time Clock*), SIM900A sebagai modul yang mengirimkan pesan peringatan dan SD *card* yang berfungsi untuk menyimpan data hasil pengukuran, sehingga data pengukuran dapat dibaca. Rancangan *controller* alat *monitoring* yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 3.



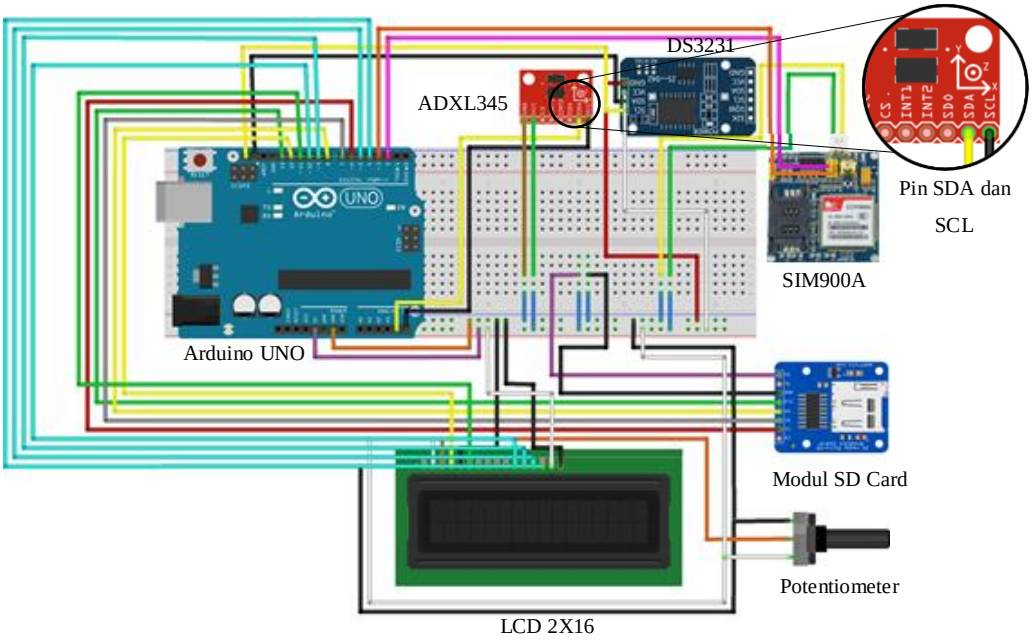

Keterangan :

1. Sensor ADXL345
2. Modul *Micro SD Card*
3. Breadboard
4. Arduino Uno R3
5. Tombol power
6. DS3231
7. Sim900a
8. *Case* Pelindung

**Gambar 3**. Rancangan *Controller* Alat *Monitoring* Level Getaran

**b. *Wiring* Diagram**

*Wiring* diagram alat *monitoring* terdapat Arduino UNO, ADXL345, DS3231, SIM900A dan Modul SD *card* sebagai komponen utama dari alat monitoring yang terangkai dalam satu sistem yang saling berhubungan. LCD dan *Potentiometer* sebagai komponen pendukung untuk menampilkan nilai kecepatan getaran dan status kondisi dari mesin. *Wiring diagram* dari alat monitoring yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 4.




**Gambar 4**. Skema Rangkaian Alat Ukur Getaran

Pada percancangan rangkaian alat, ADXL345 berfungsi untuk mengukur nilai respon getaran dari mesin berputar. ADXL345 merupakan sensor percepatan yang mampu mengukur percepatan linier dalam tiga sumbu (x, y dan z) [16]. ADXL345 dapat digunakan melalui dua jalur komunikasi yaitu I2C dan SPI untuk komunikasi digital. Pada perancangan ini digunakan I2C. kemudian pin SCL dan SDA pada ADXL345 disambukan ke pin Analog 4 dan Analog 5 pada Arduino. SIM SD Card berfungsi untuk menyimpan data yang didapat dari hasil pengukuran oleh ADXL345. Modul ini memerlukan *library* pada program Arduino agar dapat berfungsi, yaitu fungsi SD.h. Kemudian pin CLK, D1 dan D0 disambungkan ke pin Digital 11, Digital 12 dan Digital 13. DS3231 digunakan untuk menampilkan RTC (*Real Time* Clock). RTC berfungsi untuk menampilkan waktu terkini dari pembacaan nilai getaran, sehingga dapat diketahui waktu terkini pada saat mesin mengalami gangguan. Modul SIM900A berfungsi untuk mengirim SMS, pada perancangan ini SMS yang dikirm merupakan peringatan dari getaran yang ditimbulkan pada mesin apabila telah melampaui batas wajar. Modul ini menggunakan pin Digital 7 dan Digital 8. Modul ini juga memerlukan *library* yaitu Serial untuk komunikasinya. pin Digital 7 dan Digital 8 tadi dihubungkan secara bersilangan dengan pin Tx dan Rx agar dapat berkomunikasi. Komponen pendukung dari alat *monitoring* ini yaitu LCD 2X16 dan *potentiometer* yang berfungsi untuk menampilkan nilai kecepatan getaran dan status kondisi dari mesin. Kedua komponen tersebut dipasang pada pin digital 12, 11, 10, 9, 4 dan 5.

### 2.3 Perancangan Program Alat *Monitoring* Getaran

Perancangan program diperlukan agar alat monitoring getaran bekerja sesuai dengan perintah yang diinginkan. Hal pertama yang dilakukan adalah merancang program pengukuran getaran. ADXL345 menghasilkan luaran berupa nilai percepatan yang kemudian dikoversikan menjadi nilai kecepatan getaran melalui program yang dibuat. Hasil dari pembacaan nilai kecepatan getaran ini dikalibrasikan dengan alat ukur *vibrometer* standar.

Perancangan program selanjutnya yaitu program RTC dan penyimpanan data. Program ini akan menyimpan nilai kecepatan getaran yang didapat dan waktu terkini dari pembacaan modul ke dalam memori eksternal. Perancangan terakhir yaitu perancangan pengiriman pesan peringatan melalui SMS. Perancangan program SMS peringatan dibagi menjadi dua kategori pengiriman, yang pertama pada saat mesin dalam kondisi siaga dan kedua pada saat mesin dalam kondisi bahaya. Pesan (SMS) dikirim ke operator berdasarkan nilai kecepatan getaran yang dihasilkan oleh mesin yang mengacu kepada ISO 2372. Kategori pertama akan dikirim apabila kecepatan getaran di atas 2,8 mm/s dan kategori kedua apabila kecepatan getaran di atas 4,5 mm/s seperti terlihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** ISO 2372 Standar untuk Keamanan Getaran [3].

| VIBRATION SEVERITY RANGE | | VIBRATION SEVERITY RANGES FOR MACHINES BELONGING TO | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| PK (IN/S) | RMS (MM/S) | CLASS I < 20 HP | CLASS II 20–100 HP | CLASS III > 100 HP | CLASS IV > 100 HP |
| 0.015 | 0.28 | A | A | A | A |
| 0.025 | 0.45 | A | A | A | A |
| 0.039 | 0.71 | B | A | A | A |
| 0.062 | 1.12 | B | B | A | A |
| 0.099 | 1.8 | C | B | B | A |
| 0.154 | 2.8 | C | C | B | B |
| 0.248 | 4.5 | D | C | C | B |
| 0.392 | 7.1 | D | D | C | C |
| 0.617 | 11.2 | D | D | D | C |
| 0.993 | 18 | D | D | D | D |
| 1.54 | 28 | D | D | D | D |
| 2.48 | 45 | D | D | D | D |
| 3.94 | 71 | D | D | D | D |

Keteragan :
PK: peak; RMS: root mean square;
A: baik; B: diperbolehkan; C: lumayan; D: tidak diizinkan.
Klasifikasi yang disarankan:
*Class* I : Mesin kecil ( Motor < 15 kW)
*Class* II : Mesin sedang ( motor >15kW dan <75kW, tanpa pondasi)
*Class* III : Mesin besar dengan pondasi kuat
*Class* IV : Mesin sangat berat ( mesin turbo) dengan pondasi khusus

### 2.4 Pengujian Sistem

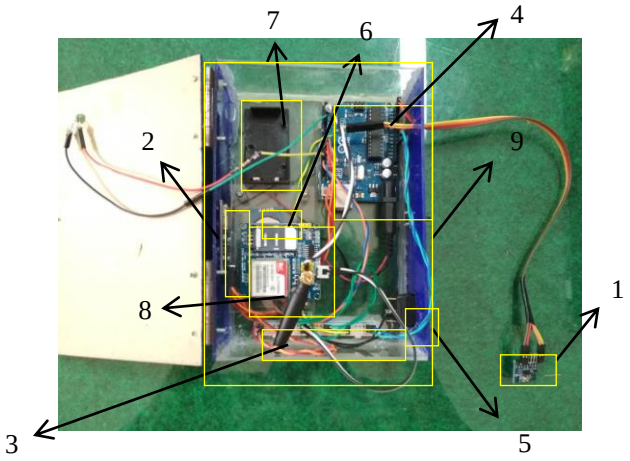
Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui apakah setiap komponen dalam sistem dapat bekerja sesuai dengan yang diperintahkan. Pengujian dilakukan dalam beberapa tahapan sebelum dilakukan pengujian sistem secara keseluruhan. Beberapa pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pengujian Pengukuran Nilai Kecepatan Getaran
   Pengujian ini didapat nilai kecepatan getaraan atau *velocity* (mm/s). Nilai yang didapat dibandingkan dengan alat ukur standar agar pembacaan nilai kecepatan getaran sesuai.
2. Pengujian Program RTC (*Real Time Clock*)
   Pengujian program RTC bertujuan untuk melihat apakah modul DS3231 dapat menampilkan waktu terkini saat melakukan pembacaan respon getaran.
3. Pengujian Program Penyimpanan Data
   Pengujian program penyimpanan data dilakukan untuk melihat apakah modul SD *Card* berhasil menyimpan data pada memori eksternal. Program ini nantinya akan berfungsi untuk menyimpan data getaran yang terbaca ke dalam memori eksternal dan dapat ditampilkan di dalam PC.
4. Pengujian Pengiriman SMS Peringatan
   Pada pengujian ini dilakukan percobaan untuk mengirim SMS peringatan terhadap kondisi mesin. Pengujian ini dilakukan dengan cara memberikan gangguan pada *prototype* mesin. Gangguan yang diberikan adalah mesin diberi kondisi mengalami *unbalance* dan mesin diberi kondisi mengalami kelonggaran.
5. Pengujian Keseluruhan Sistem
   Pengujian Kesuluruhan sistem dilakukan untuk melihat apakah keseluruhan program yang telah digabungkan di dalam sistem alat monitoring getaran bekerja sesuai perintah yang diinginkan. pengujian ini dikakukan dengan melakukan pengukuran getaran pada miniatur mesin yang telah diubah kondisinya. Tahap selanjutnya, apabila getaran mesin mendekati batas tidak normal, maka pesan peringatan 1 akan dikirim dan apabila getaran berada pada batas tidak normal pesan peringatan 2 akan dikirim. Setelah itu, penyimpanan data dilihat pada PC apakah memori eksternal menyimpan waktu dan data geataran.

## 3. HASIL DAN DISKUSI

### 3.1 Hasil Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Alat monitoring kerusakan mesin yang dibuat terdiri atas sensor ADXL345, modul Micro SDCard, Arduino Uno R3, SIM900A, DS3231, dan batere. Hasil perancangan perangkat keras (*hardware*) alat *monitoring* kerusakan mesin berdasarkan level getaran secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 5.




Keterangan :

1. Sensor ADXL345
2. Modul *Micro SD Card*
3. Breadboard
4. Arduino Uno R3
5. Tombol power
6. DS3231
7. Tempat Baterai
8. SIM900A
9. *Case* Pelindung

**Gambar 5**. Hasil Perancangan Keseluruhan Sistem

### 3.2 Pengujian Pengukuran Getaran

Pengujian pengukuran getaran dilakukan untuk mengkalibrasi sistem pengukuran getaran yang dibuat dengan cara membandingkan hasil pengujian dengan alat ukur standar. Pengujian dilakukan sebanyak lima (5) kali pengulangan untuk masing-masing alat ukur standar dan alat ukur hasil rancangan dengan variasi putaran motor 1000 rpm, 1500 rpm dan 2000 rpm. Tabel 2 menunjukkan nilai kecepatan getaran yang didapat dari alat ukur standard an pengukuran dengan alat hasil rancangan.

**Tabel 2.** Nilai Kecepatan Getaran pada Alat Ukur Kalibrasi.

| | VELOCITY (MM/S) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **PENGUJIAN** | **1000 RPM** | | **1500 RPM** | | **2000 RPM** | |
| | **Alat Ukur Standar** | **Alat Ukur Buatan** | **Alat Ukur Standar** | **Alat Ukur Buatan** | **Alat Ukur Standar** | **Alat Ukur Buatan** |
| 1 | 0,84 | 0,86 | 1,76 | 1,73 | 1,97 | 1,94 |
| 2 | 0,84 | 0,86 | 1,76 | 1,73 | 1,97 | 1,94 |
| 3 | 0,84 | 0,86 | 1,7 | 1,73 | 1,97 | 1,94 |
| 4 | 0,84 | 0,86 | 1,7 | 1,73 | 1,9 | 1,94 |
| 5 | 0,84 | 0,86 | 1,7 | 1,51 | 1,97 | 1,94 |
| **Rata-rata** | **0,84** | **0,86** | **1,73** | **1,67** | **1,96** | **1,94** |

Dari pengujian dua alat yang telah dilakukan (Table 2), hasil yang diperoleh dibandingkan untuk melihat besar nilai *error* yang terjadi. Tabel 3. menunjukkan nilai *error* dari pengujian pengukuran getaran alat ukur buatan dan ukur kalibrasi. Berdasarkan Tabel 3 terlihat bahwa Pada putaran 1500 rpm, nilai *error* rata-rata lebih besar daripada putaran 2000 rpm. Hal ini dikarenakan ketidakstabilan posisi sensor *accelerometer* pada saat pengujian. Ini terlihat pada Tabel 2 bahwa perbedaan hasil pengukuran hanya terjadi pada pengujian kelima (5) di putaran 1500 rpm. Secara keseluruhan, perbedaan hasil pengukuran ini memiliki nilai *error* maksimal sebesar 3,4%. Hal ini menunjukkan bahwa pembacaan respon getaran yang dihasilkan oleh alat ukur getaran yang dirancang sudah mendekati dengan alat ukur getaran standar.

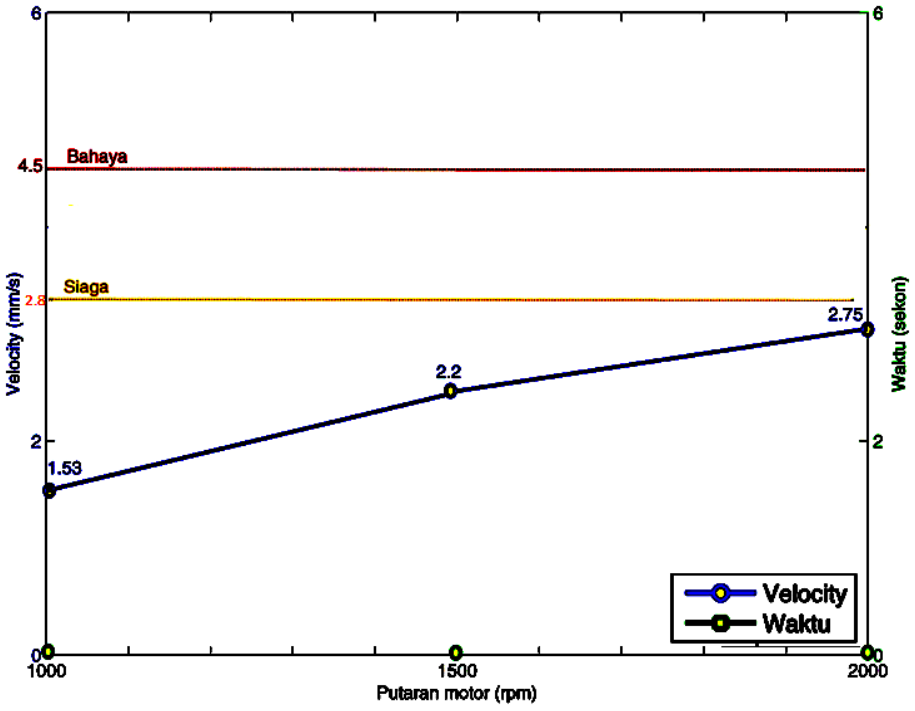
**Tabel 3.** Nilai *Error* Kecepatan Getaran Alat Ukur Kalibrasi dan Alat Ukur Buatan

| PUTARAN MOTOR (RPM) | RATA-RATA *VELOCITY* (MM/S) | | *ERROR* (%) |
|---|---|---|---|
| | ALAT UKUR KALIBRASI | ALATUKUR BUATAN | |
| 1000 | 0,84 | 0,86 | 2,3 |
| 1500 | 1,73 | 1,67 | 3,4 |
| 2000 | 1,96 | 1,94 | 1 |

### 3.3 Pengujian Sistem Secara Kesuluruhan

Pengujian selanjutnya adalah melakukan pengujian sistem alat monitoring secara keseluruhan. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah semua komponen yang telah terpasang dalam alat *monitoring* dapat bekerja sesuai perintahnya atau tidak. Dalam hal ini, mesin akan memberikan infromasi peringatan mengenai kondisi mesin berdasarkan getaran mesin.

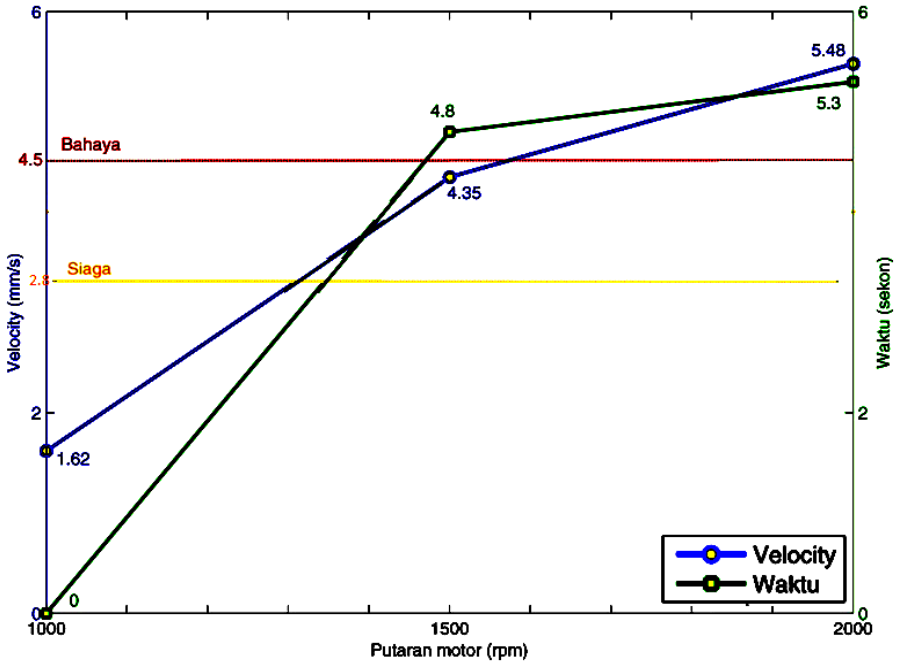
Pengujian dilakukan pada tiga (3) kondisi mesin yaitu mesin dengan kondisi normal, cacat *unbalance* dan mengalami kelonggaran mekanik. Kategori pengiriman pesan peringatan terbagi menjadi dua yaitu pada saat kondisi siaga dan kondisi bahaya. Kondisi siaga akan terkirim apabila nilai level getaran melebihi 2,8mm/s dan kondisi bahaya akan dikirim apabila level kecepatan getaran pada mesin melebihi nilai 4,5mm/s berdasarkan ISO 2372. Gambar 6 menunjukkan hasil dari pengujian pada mesin dengan kondisi normal.




**Gambar 6**. Grafik Perbandingan Nilai Kecepatan Getaran dan Waktu Pengiriman Pesan Terhadap Putaran Motor pada Mesin Kondisi Normal

Gambar 6 menampilkan perbandingan nilai kecepatan getaran dan waktu pengiriman SMS peringatan terhadap variasi putaran motor. Nilai kecepatan getaran yang dihasilkan pada pengujian ini menunjukkan bahwa nilai kecepatan getaran meningkat seiring dengan meningkatnya putaran motor. Sedangkan waktu pengiriman pesan peringatan tidak terjadi perubahan atau tidak adanya pengiriman pesan peringatan yang dilakukan oleh alat *monitoring*. Hal ini terjadi karena nilai kecepatan getaran yang dihasilkan pada pengujian mesin kondisi normal masih berada dalam kondisi aman.

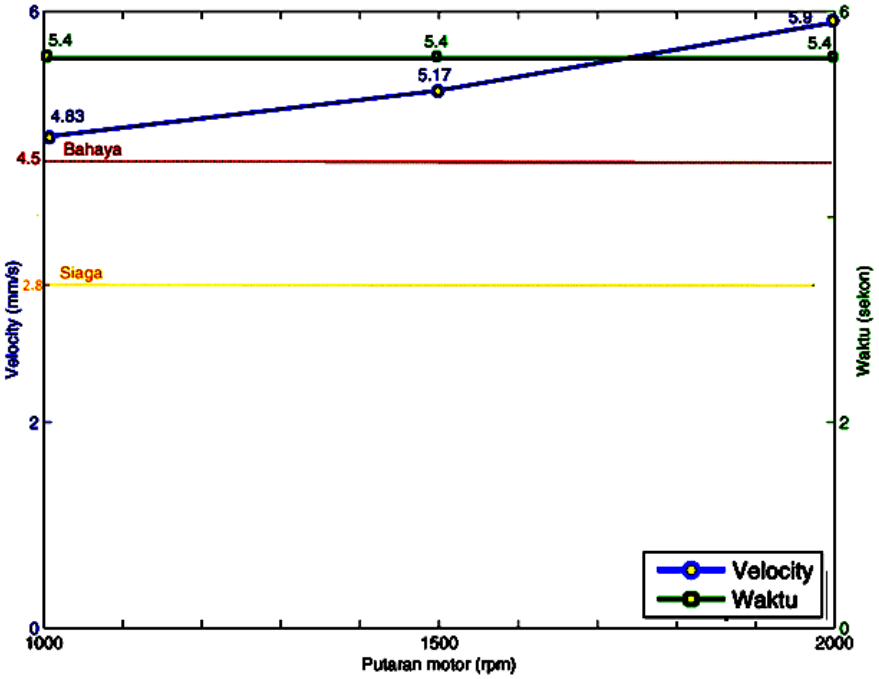
Hasil pengujian pada mesin yang mengalami kondisi *unbalance* dapat dilihat pada Gambar 7.




**Gambar 7**. Grafik Perbandingan Nilai Kecepatan Getaran dan Waktu Pengiriman Pesan Terhadap Putaran Motor pada Mesin Kondisi *Unbalance*

Gambar 7. menampilkan perbandingan nilai kecepatan getaran dan waktu pengiriman SMS peringatan terhadap putaran motor. Nilai kecepatan getaran yang didapat mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan putaran motor. Gambar 7. menunjukkan adanya perubahan nilai waktu pengiriman SMS peringatan. Pesan peringatan terkirim pada putaran 1500 rpm dan 2000 rpm dengan durasi waktu pengiriman yaitu 4,8 detik dan 5,3 detik. Hal ini terjadi karena nilai kecepatan getaran yang dihasilkan telah melewati batas kondisi siaga dan bahaya dari getaran yang diperbolehkan. Pada putaran 1000 rpm pesan peringatan tidak terkirim karena nilai kecepatan getaran yang dihasilkan masih dalam kondisi aman.

Pengujian terakhir yaitu pada kondisi mesin yang mengalami kelonggaran, hasilnya dapat dilihat pada Gambar 8.




**Gambar 8**. Grafik Perbandingan Nilai Kecepatan Getaran dan Waktu Pengiriman Pesan Terhadap Putaran Motor pada Mesin Kondisi Kelonggaran

Gambar 8 menampilkan perbandingan nilai kecepatan getaran dan waktu pengiriman SMS peringatan terhadap variasi putaran motor. Nilai kecepatan getaran yang didapat pada pengujian menujukkan bahwa setiap kenaikan putaran motor nilai kecepatan getaran meningkat. Waktu pengiriman pesan peringatan pada pengujian ini menunjukkan nilai yang sama setiap variasi putaran motor yaitu 5,4 detik. Hal ini terjadi karena setiap putaran motor nilai kecepatan getaran yang didapat sudah melewati batas kondisi bahaya.

## 4. KESIMPULAN

Alat *monitoring* kerusakan mesin yang dibuat dapat berfungsi dengan baik. Nilai *error* dari pembacaan kecepatan getaran terhadap alat ukur standar memiliki nilai dibawah 3,5 %. Alat *monitoring* kerusakan mesin ini juga dapat mengirimkan pesan peringatan mengenai kondisi mesin dengan durasi waktu pengiriman kurang dari 5.5 detik.

## 5. DAFTAR PUSTAKA


[1] SURYADI, D., MEILIANDA, R., SURYONO, A.F., MUNADI, "Sistem Pakar untuk Mengidentifikasi Kerusakan Mesin Industri Menggunakan Metode Certainty Factor," *ROTASI Jurnal Teknik Mesin*, 20(1): 56-62, 2018.

[2] SETYAWAN, H. P, SURYADI, D., "Analisis Karakteristik Vibrasi pada Paper Dryer Machine untuk Deteksi Dini Kerusakan Spherical Roller Bearing," *ROTASI Jurnal Teknik Mesin*, 20 (2): 110-117, 2018.

[3] GIRDHAR, P., SCHEFFER, C., *Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintanance*. London: Newnes, 2004.

[4] SURYADI, D., VETRANO, M., "Identifikasi Unbalance dan Metode Balancing pada Rotor Tunggal dengan Menggunakan Digital Signal Analyzer (DSA)", In: *Prosiding Seminar Nasional Inovasi, Teknologi dan Aplikasi (SeNITiA)*, pp. 262-266, Bengkulu, September. 2018.

[5] GUAN, ZHAOYI, "Vibration Analysis of Shaft Misalignment and Diagnosis Method of Structure Faults for Rotating Machinery," *International Journal of Performability Engineering, 13*(4), 337-347, 2017.

[6] KORBA, K. A., ARBAOUI, F., "SVM Multi-Classification od Induction Machine's Bearings Defect Using Vibratory Analysis Based on Empirical Mode Decomposition" *International Journal of Applied Engineering Research*. 13(9) : 6579-6586, 2018.

[7] CASTILLA, J., FORTES, J.C., DÁVILA, J.M., MELGAR, S., SARMIENTO, A., "Predictive maintenance of mining machinery based on vibrational analysis" In: *Proceeding of 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management (SGEM)*, pp. 663-668, Bulgaria, July. 2018.

[8] LAISSAOUI, A., BOUZOUANE, B., MILOUDI, A., HAMZAOUI, N., "Perceptive analysis of bearing defects (Contribution to vibration monitoring)", *Applied Acoustics*. 140,248-255, 2018.

[9] LEE, C.Y., SU, HUANG, T. S., LIU, M. K., LAN, C. Y., "Data Science for Vibration Heteroscedasticity and Predictive Maintenance of Rotary Bearings", *Energies*. 12(5), 801-818, 2019.

[10] EDE, K. N., OGBONNAYA, E. A., LILLY, M. T., "Vibration Monitoring of Rotating Systems", Engineering. 2(1), 46-54, 2010.

[11] EROL, S. S., "A Research Study on Vibrating Elements and Consuming Electricity in Predictive Maintenance", *European Journal of Interdisciplinary Studies*. 2(3), 45-50, 2016.

[12] DIVEKAR, P. MANUGADE, P. KAMBLE, A. HARAGAPURE, A.A., "Vibration Measurement Using Accelerometer and Arduino" *International Journal of Recent Innovation in Engineering and Research*. 2(3) : 177-179, 2017.

[13] ZAINUR RAHMAN, ALFAS dkk., "Rancang Bangun Alat Ukur Getaran Menggunakan Sensor MEMS (Micro Electro Mechanical System) Akselerometer", *Edu Elektrika Journal, 4*(1), 8-16, 2015.

[14] BANSAL, PUNEET, "Monitoring and Analysis of Vibration Signal in Machine Tool Structure", *International Journal of Engineering Development and Research, 2*(2), 2310-2317, 2014.

[15] HJORT, ADAM., *Measuring Mechanical Vibrations Using An Arduino As A Slave I/O to An EPICS Control System.* Sweden : Uppsala University, 2015.

[16] HSU, TAI RAN, *MEMS & Microsystem Design And Manufacture*. Singapore: McGrawHill, 2002.