



Sistem Predictive *Maintenance Bearing* Pada Mesin Super Mixer Granula Dengan Menggunakan Sensor Accelerometer MPU-6050

Catherine Angel Tandiawan¹, Oktavianus Ardhian Nugroho²

^{1,2}Politeknik Industri ATMI, Cikarang

email : ardhianatmi@gmail.com

Received: 12 September 2022; Received in revised form: 13 Oktober 2022; Accepted: 19 Oktober 2022

Abstract

PT Hexpharm Jaya Laboratories is one of the companies that is part of Kalbe Company which is specially engaged in the development, production, processing, and marketing of drugs. The process of processing medicinal raw materials at PT Hexpharm Jaya Laboratories uses several machines, one of which is the SMG (Super Mixer Granula) machine. This machine is used to mix medicinal raw materials and is the initial processing process before it becomes a granule. The problem that often arises in this machine is the problem of replacing bearings. Bearings attached to the shaft section connecting the gearbox with granules are often subject to damage that causes production stops/breakdowns. This unplanned maintenance process has previously been tried to be overcome by calculating the life of the bearing and alignment shaft connecting to reduce vibrations, but the bearing still suffers untimely damage. In this paper, a system was created to predict when the bearings need to be replaced by recording vibration data that occurs. The purpose of this study is to obtain a system that prevents unplanned maintenance so that it does not interfere with the production process Using the MPU-6050 sensor the vibrations on the bearings are measured and recorded during the machine's 12-hour operation. The results are obtained by a predictive maintenance system that can prevent breakdowns that result in the cessation of the production process. The system is created by recording vibrations that occur when the machine is working and is used as a way to predict the lifetime of the bearing. The system successfully measures the vibration value of the bearing and can be displayed, helping the maintenance technician estimate the exact time for bearing replacement in the SMG machine.

Keywords: bearing, vibration, predictive maintenance, super mixer granular (SMG), unplanned maintenance

Abstrak

PT Hexpharm Jaya Laboratories adalah salah satu perusahaan yang merupakan bagian dari Kalbe Company yang bergerak secara khusus dalam bidang pengembangan, produksi, pengolahan, dan pemasaran obat. Proses pengolahan bahan baku obat di PT Hexpharm Jaya Laboratories menggunakan beberapa mesin, salah satunya adalah mesin SMG (*Super Mixer Granula*). Mesin ini digunakan untuk mencampur bahan baku obat dan merupakan proses pengolahan awal sebelum menjadi granul. Masalah yang sering timbul pada mesin ini yaitu masalah penggantian *bearing*. *Bearing* yang terpasang di bagian *shaft* penghubung *gearbox* dengan granula sering mengalami kerusakan yang menyebabkan produksi berhenti/breakdown. Proses *unplanned maintenance* ini sebelumnya sudah coba diatasi dengan penghitungan umur *bearing* dan alignment *shaft* penghubung untuk mengurangi getaran, tetapi *bearing* tetap mengalami kerusakan sebelum waktunya. Dalam tulisan ini dibuatlah suatu sistem untuk memprediksi kapan *bearing* perlu diganti dengan mencatat data getaran yang terjadi. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan sistem yang mencegah terjadinya *unplanned maintenance* sehingga tidak mengganggu proses produksi. Dengan menggunakan sensor MPU-6050 getaran pada *bearing* diukur dan direkam selama mesin 12 jam beroperasi. Hasilnya didapat suatu sistem *predictive maintenance* yang dapat mencegah terjadinya *breakdown* yang mengakibatkan berhentinya proses produksi. Sistem ini dibuat dengan merekam getaran yang terjadi ketika mesin bekerja dan digunakan sebagai cara untuk

memprediksi *lifetime bearing*. Sistem ini berhasil mengukur nilai getaran *bearing* dan dapat ditampilkan sehingga membantu teknisi *maintenance* memperkirakan waktu yang tepat untuk penggantian *bearing* di mesin SMG.

Kata kunci: *bring*, getaran, *predictive maintenance*, *super mixer granular (SMG)*, *unplanned maintenance*

1. PENDAHULUAN

PT Hexpharm Jaya adalah salah satu perusahaan yang merupakan bagian dari Kalbe Company yang bergerak secara khusus dalam bidang pengembangan, produksi, dan pemasaran obat. PT Hexpharm Jaya merupakan perusahaan farmasi yang berkualitas dan ekonomis. Terdapat dua jenis macam obat yang diproduksi yaitu generic dan branded. Ada beberapa tahapan dalam produksi obat pada PT Hexpharm Jaya yaitu : penimbangan bahan baku, proses pengolahan bahan baku, proses pengeringan, proses pencampuran akhir, proses pencetakan, proses penyalutan, proses pengemasan primer, dan terakhir proses pengemasan sekunder.

Salah satu permasalahan utama yang sering muncul di PT. Hexpharm Jaya adalah adanya *unplanned maintenance* pada mesin *Super Mixer Granula (SMG)*. Proses *unplanned maintenance* mengganggu proses pencampuran bahan baku obat di line Mixer PT Hexpharm Jaya. Proses *unplanned maintenance* menurut Tsakatikas D [1] perlu diatasi untuk mencegah terjadinya kekosongan serta merasionalisasi efisiensi persediaan suku cadang mesin di pabrik. Masalah yang ada terjadi sering muncul pada proses pengolahan percampuran bahan baku, di mana mesin *Super Mixer Granula (SMG)* sering mengalami kerusakan tiba tiba pada *bearing*. Mesin SMG seperti pada gambar 1 adalah suatu *Granulator mixer* dengan bentuk mangkuk tetap. Menurut M Ladin [2], mesin ini berfungsi sebagai proses pencampuran, densifikasi dan aglomerasi bahan obat. Bahan obat dapat tercampur melalui gaya geser dan pemadatan yang diberikan oleh impeller yang berputar di bagian bawah. Mesin dengan sistem ini banyak digunakan dalam granulasi farmasi [2]. Sebelumnya untuk memprediksi kerusakan *bearing* dilakukan proses penghitungan umur *bearing* [3] [4], dari hasil penghitungan umur *bearing* didapat *lifetime bearing* sebesar 3041 jam atau sekitar 8,5 bulan. Proses *alignment shaft* penghubung juga dilakukan untuk menambah *lifetime* dari *bearing* dan mengurangi getarannya. Akan tetapi penggantian *bearing* dan proses *unplanned maintenance* tetap dilakukan setiap 5 sampai 6 bulan karena *bearing* tiba-tiba mengalami kerusakan sebelum waktunya. Kerusakan ini ditandai dengan bunyi pada mesin dan adanya getaran pada *shaft* ketika mesin *granulator* ini bekerja. Hal ini menyebabkan mesin mengalami breakdown yang membuat proses produksi berhenti selama 5 hari. Oleh karena itu diperlukan suatu cara yang dapat memperkirakan kapan *bearing* ini harus diganti.



Gambar 1. Mesin SMG yang terdapat pada PT Hexpharm Jaya

Penelitian pendahuluan tentang *predictive maintenance* telah dilakukan oleh penulis J Wang, Y Liang [5] yang melakukan analisis diagnosis dan prognosis dari kesalahan yang terintegrasi pada waktu pemeliharaan bantalan. Pada penelitiannya dilakukan prediktif pada bantalan turbin angin dengan menggunakan sampel yang terbatas. Hasilnya dengan memanfaatkan pendekatan metode pengetahuan fisik dan model statistik didapatkan cara proses prediksi umur bantalan turbin angin secara akurat.

Penelitian lain juga pernah dilakukan oleh H.M Hashemian [6] yang merancang sistem *predictive maintenance* menggunakan sensor. Pada penelitiannya sensor yang dipakai masih berbasis nirkabel dipasang pada motor, *bearing*, dan poros pada pembangkit listrik tenaga nuklir dengan tujuan untuk

meminimalkan risiko kegagalan katastropik, meningkatkan keselamatan para pekerja serta mengurangi biaya perawatan. Dari hasil penelitiannya *wireless monitoring technology* yang dipakai sangatlah berguna karena dapat mengetahui kerusakan dan masalah secara remote tanpa harus mengecek secara langsung.

Peneliti yang serupa juga pernah dilakukan oleh Sebastian Schwendemann, Zubair Amjad, dan Axel Sikora [7] yang melakukan cara survei teknik pembelajaran mesin untuk pemantauan kondisi dan *predictive maintenance* pada *bearing* mesin gerinda yang bertujuan untuk mengoptimalkan biaya penggantian dan meminimalkan waktu berhentinya mesin. Selain itu dapat menyajikan klasifikasi kerusakan pada *bearing* dan prediksi sisa umur *bearing* untuk memperkirakan penggunaan produktif suatu komponen sebelum munculnya potensi kegagalan.

Dari penelitian sebelumnya tentang *predictive maintenance* belum ada yang menggunakan *sistem* online dan mudah untuk di aplikasikan. Oleh karena itu pada penelitian ini dirancanglah sebuah *sistem predictive maintenance* yang berfungsi untuk mencegah terjadinya *unplanned maintenance* pada mesin SMG di PT. Hexpharm Jaya, sehingga teknisi dan *operator* mesin tahu kapan waktu *maintenance* pada mesin SMG dilakukan tanpa menunggu terjadinya kerusakan pada *bearing*. Dengan menggunakan sensor *accelerometer* MPU-6050 nilai getaran yang terjadi dicatat dan direkam. Kemudian data tersebut digunakan untuk proses *predictive maintenance*, data getaran tersebut nantinya dibaca dan ditampilkan menggunakan aplikasi Grafana [8] [9] sehingga nilainya dapat dilihat dan diketahui kapan waktu yang tepat untuk melakukan penggantian *bearing* pada mesin SMG. Dengan adanya sistem ini pada mesin SMG maka proses *unplanned maintenance* dapat dihindari. Hasil dari sistem yang telah dibuat ini membuat biaya dan waktu *maintenance* menjadi lebih rendah, karena hanya melakukan penggantian pada *bearing* saja.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode observasi, wawancara, dokumentasi dan pengambilan data.

2.1. Mencari Informasi Tentang Cara Kerja Dan Permasalahan Pada Mesin SMG.

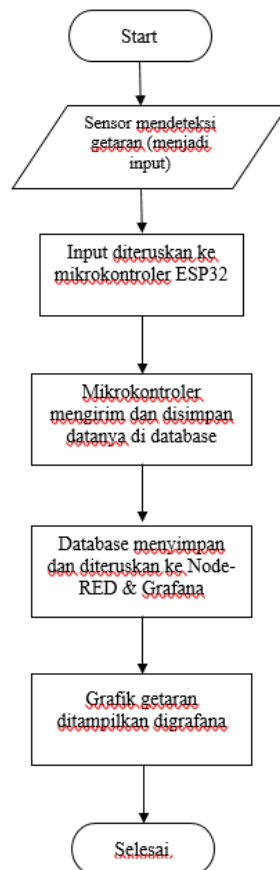
Pada metode observasi dilakukan proses pengamatan terhadap cara kerja dan permasalahan yang terjadi di mesin SMG. Selain itu melakukan pengamatan lingkungan area terkait alat yang akan dibuat dan melakukan perbandingan serta mencari literasi melalui jurnal yang berkaitan dengan proses *predictive* umur elemen elemen mesin. Proses selanjutnya adalah wawancara langsung dengan teknisi *maintenance* dan beberapa *staff* teknisi *maintenance* di PT Hexpharm Jaya untuk mendapatkan informasi mengenai mesin SMG dan kerusakan yang sering terjadi pada mesin tersebut.

2.2. Pemilihan Sensor Getaran.

Setelah semua proses diatas dilakukan, selanjutnya dilakukan pemilihan sensor untuk pengambilan data getaran pada mesin SMG. Ada beberapa pilihan dalam proses pemilihan sensor seperti menggunakan sensor GH 313-A, sensor SW 420 dan sensor MPU-6050. Dari ketiganya alasan utama sensor MPU-6050 dipilih karena harganya yang lebih terjangkau dibandingkan sensor GH 313-A dan sensor SW 420. Penggunaan jenis sensor ini menurut Fakhruddin M [10] Sensor *Accelerometer* MPU-6050 memiliki 6 axis *Motion Processing Unit* dengan penambahan regulator tegangan dan beberapa komponen pelengkap lainnya yang membuat modul ini siap pakai dengan tegangan *supply* sebesar 3-5 VDC. Modul ini memiliki *interface* I2C yang dapat disambungkan langsung ke MCU (*Microcontroller Units*) yang memiliki fasilitas I2C. Sensor MPU-6050 berisi sebuah *Microelectromechanical Systems* (MEMS) *Accelerometer* dan sebuah MEMS Gyro yang saling terintegrasi. Sensor ini sangat akurat dengan fasilitas hardware internal 16 bit ADC untuk tiap kanalnya. Dengan spesifikasi yang telah disebutkan sebelumnya membuat sensor ini dapat bekerja dengan optimal. Selain itu menurut A. A. Rafiq [11], dengan menambahkan kontrol tambahan pada sensor yang sesuai maka hasilnya akan lebih akurat.

2.3. Aplikasi Grafana.

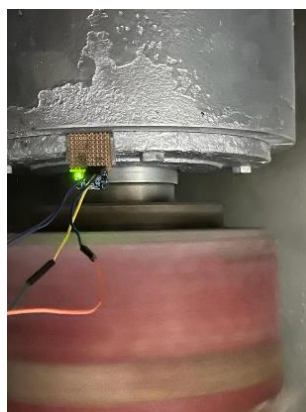
Aplikasi ini berfungsi untuk menampilkan intensitas getaran pada *bearing* mesin SMG yang didapat dari data pengujian seperti pada Gambar 4. Secara garis besar proses kerja alat ditunjukkan pada Gambar 2. Gambar 2 menjelaskan tentang proses alur kerja alat yang sudah dirancang dari awal sensor mendeteksi sampai dengan muncul grafik pada aplikasi Grafana untuk memudahkan proses pembacaan.



Gambar 2. Flow chart sistem kerja alat

2.4. Proses pengambilan data.

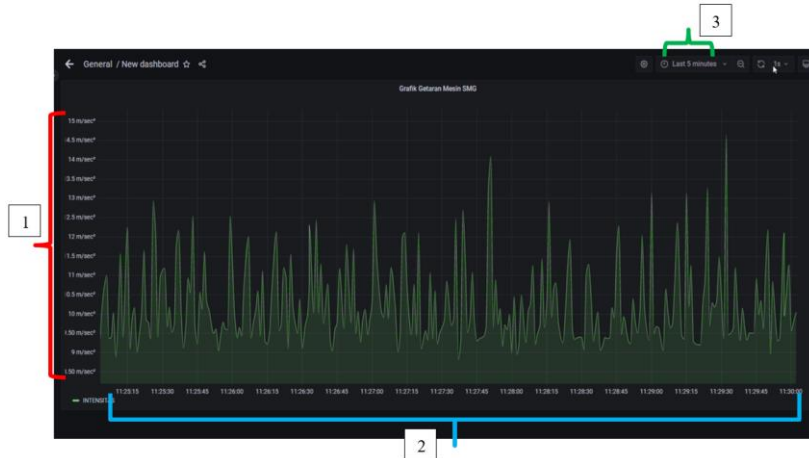
Proses pengambilan data dilakukan pada mesin SMG yang sedang dipakai proses produksi . Ada 2 mesin yang dipakai sebagai patokan. Mesin SMG line 2 yang telah diganti *bearing* baru dengan SMG line 3 yang akan dilakukan proses penggantian *bearing* nantinya. Peletakan sensor dipasang di titik yang paling dekat dengan *bearing*. Pada Gambar 3 menunjukkan posisi peletakan sensor MPU-6050 pada mesin SMG line 2.



Gambar 3. Posisi sensor pada mesin SMG line 2

Sensor ini nantinya akan terhubung dengan ESP32. Data pada ESP32 nantinya dihubungkan dengan laptop menggunakan jaringan WiFi. Selanjutnya setelah program di jalankan, sensor akan mendeteksi getaran yang ada pada *bearing* lalu mengirimkan hasil pembacaan data ke ESP 32. Setelah ESP32 dapat menjalankan fungsi maka data dapat langsung diteruskan ke mySQL melalui Node-RED. Jika

Node-RED sudah terkoneksi maka MySQL dapat langsung dihubungkan dengan Grafana. Dan selanjutnya Grafana menampilkan keluaran dari sensor dalam bentuk angka dan bentuk grafik. Pada Gambar 4 adalah tampilan grafik yang telah dibuat oleh penulis menggunakan aplikasi Grafana.



Gambar 4. Tampilan Grafana Keterangan: 1. menunjukkan intensitas getaran dengan satuan m/s^2 . 2. menunjukkan waktu dari intensitas getaran tersebut (*realtime*) 3. menunjukkan berapa lama jangka waktu dari intensitas getaran yang dapat dilihat.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengujian dan pengambilan data yang telah dilakukan didapatkan beberapa data dari setiap mesin SMG. Tabel 1 dan Tabel 2 menunjukkan nilai rata getaran yang didapat ketika proses pengambilan data berlangsung.

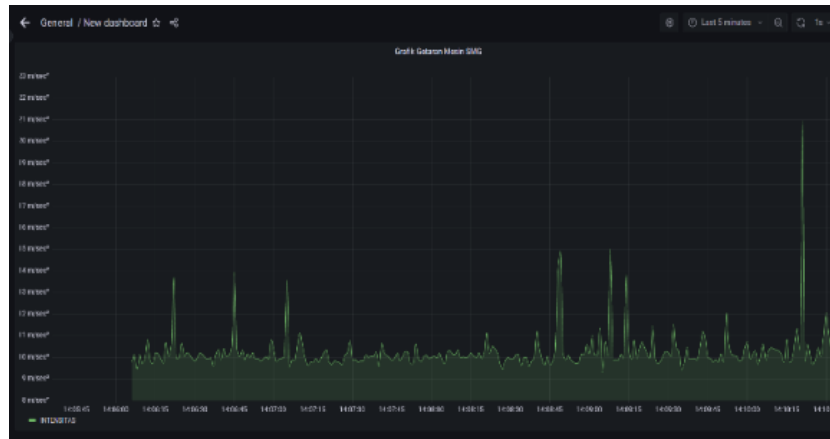
Tabel 1. Nilai rata rata Data di Mesin Super *Mixer* Line 2

NO	MESIN SMG LINE 2 INTENSITAS GETARAN		Beban pada mesin (Bubuk Granula)
	TERTINGGI	TERENDAH	
1	12,44	9,31	60,38 kg
2	12,48	9,17	63,38 kg
3	16,57	9,37	94,96 kg
4	16,76	9,29	96,96 kg

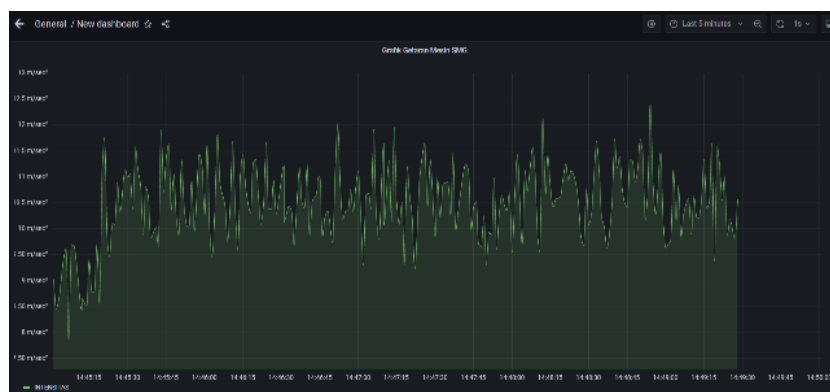
Tabel 2. Nilai rata rata Data di Mesin Super *Mixer* Line 3

NO	MESIN SMG LINE 3 INTENSITAS		Beban pada mesin (Bubuk Granula)
	TERTINGGI	TERENDAH	
1	14,24	9,51	66,66 kg
2	14,66	9,32	66,66 kg
3	20,02	9,27	94,96 kg
4	20,96	9,34	96,96 kg

Pada tampilan grafik Grafana terdapat data intensitas getaran tertinggi dan terendah. Tampilan ini dibaca dan dipakai sebagai patokan oleh *operator maintenance*. Nilai yang tertampil menunjukkan kapan *bearing* ini harus diganti atau tidak. Pada Gambar 5 menunjukkan nilai intensitas terendah dan tertinggi yang berhasil di tampilkan.



Gambar 5. Gambar Tampilan Grafik Nilai Getaran Terendah



Gambar 6. Gambar Tampilan Grafik Nilai Tertinggi

Pada Gambar 5 dan Gambar 6 adalah data grafik getaran yang diambil dari mesin *Super Mixer Granula line 2* dan *line 3* dengan beban yang terdapat di dalam masing masing mesin sama sebanyak 94,15 kg. Intensitas getaran maksimal dari mesin SGM line 2 adalah 12,44 m/s^2 nilai ini adalah nilai getaran dengan intensitas rendah ditunjukkan pada Tabel 1. Sedangkan data Tabel 2 yang diambil dari mesin *Super Mixer Granula line 3* dengan beban yang sama. Intensitas rata rata getaran maksimal dari mesin *Super Mixer Granula* adalah 20,96 m/s^2 . Data ini dianggap sebagai data dengan intensitas getaran tinggi.

KELEBIHAN DAN KEKURANGAN SISTEM PREDIKTIF MAINTENANCE

Dari hasil pengujian yang dilakukan Sensor Accelerometer MPU-6050 yang mampu mendeteksi percepatan getaran pada mesin *super mixer granula*. Kelebihannya dibandingkan dengan *sistem* prediktif sebelumnya adalah *sistem* ini dapat diakses melalui web. Sehingga *bearing* di *shaft* mesin *super mixer granula* dapat diprediksi kapan waktu yang tepat untuk mengganti *bearing*.

Selain itu kelebihan dari sistem ini adalah proses penggantian *bearing* ini memiliki biaya yang rendah dan cepat karena hanya *bearing* saja yang diganti sehingga proses break down tidak berlangsung lama dan proses produksi dapat berjalan lagi. Biaya untuk proses ini dihitung dari harga *bearing* dan tenaga yang dipakai. Tabel 3 menunjukkan harga proses pengantian *bearing*. Dari Tabel 3 dilihat bahwa dari segi waktu dan biaya nilai ini masih rendah dibandingkan dengan proses alignment *shaft* dan perbaikan dengan permesinan lain yang membutuhkan waktu yang lama dan biaya besar.

Tabel 3. Biaya total *maintenance* pengantian *bearing* pada mesin SMG

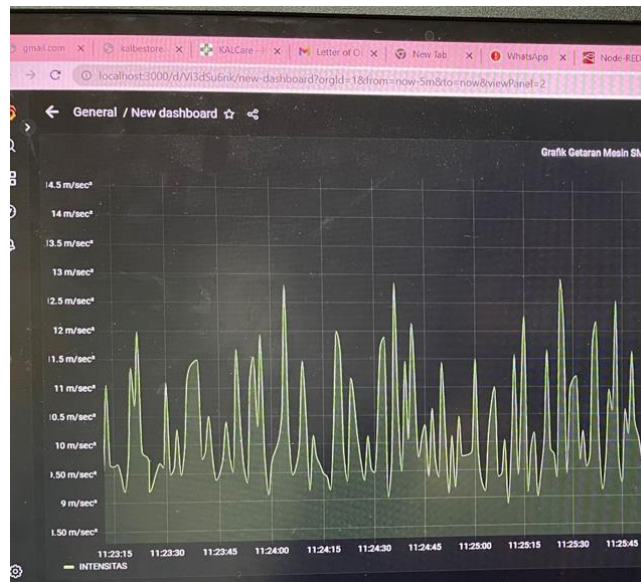
No	Jenis kegiatan	Jenis barang	Jumlah	Harga (rupiah)	Total (rupiah)
1	Pengantian <i>bearing</i>	<i>Bearing</i> 6315	4 buah	493.730,-	1.974.920,-
2	Manhour	Tenaga Maintenance	3 Hari (2 Shift) 2 x 16 x 3 x 29.000,-	2.784.000,-	2.784.000,-
TOTAL					4.758.920,-

Beberapa hal yang menjadi kekurangan dalam sistem ini seperti penggunaan sensor *accelerometer* MPU-6050 dapat diganti dengan menggunakan sensor *accelerometer* GH-313A yang memiliki tingkat ketelitian yang lebih akurat. Selain itu untuk mikrokontroler ESP32 yang digunakan bisa diganti dengan PLC yang memiliki pemrograman lebih mudah dan sudah digunakan di lingkungan pabrik. Untuk pengembangan, program dapat dihubungkan dengan jaringan Wi-Fi yang ada di PT Hexpharm Jaya Laboratories sehingga web dapat diakses dimanapun.

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian pada *prototype* sistem *predictive maintenance* pada *bearing* di *shaft* mesin *super mixer granula* dengan menggunakan sensor *Accelerometer* MPU-6050 berbasis mikrokontroler ESP32 disimpulkan bahwa: Sensor *Accelerometer* MPU-6050 mampu mendeteksi percepatan dari getaran halus pada mesin *super mixer granula*. Penggunaan *software* Arduino IDE, Node-RED dan Grafana dapat membuat sistem diakses melalui web yang memudahkan pembacaan data. Dengan adanya sistem *predictive maintenance* untuk *bearing* di *shaft* mesin SMG teknisi *maintenance* dapat memprediksi kapan waktu yang tepat untuk mengganti *bearing* sehingga proses produktivitas mesin SMG tidak terputus tiba-tiba.

Pada Gambar 7 menunjukkan continuous monitoring (sumbu y getaran dan sumbu x waktu monitoring) sistem prediktif *maintenance* pada mesin SMG line 2. Nilai getaran *bearing* mesin SMG line 2 yang baru selesai di perbaiki memiliki nilai berkisar $12,4 \text{ m/s}^2$ dan belum mendekati nilai penggantian *bearing* di 20 m/s^2 sehingga masih jauh dari proses perbaikan.

Gambar 7. Tampilan nilai getaran *bearing* di web didapat nilai continuous monitoring

Sistem ini baru di coba selama 2 minggu di PT Hexpharm Jaya Laboratories karena umur *bearing* yang biasanya diganti setiap 9 bulan sekali maka nilai perubahan getaran tidak begitu terlihat. Data perubahan baru bisa didapatkan sekitar bulan ke 6 dan 7. Tetapi menurut Supervisor di PT Hexpharm Jaya Laboratories dengan adanya sistem ini sangat membantu para *operator maintenance* melihat nilai getaran yang muncul apakah masih aman atau tidak. Sehingga tidak menghentikan kegiatan produksi di PT Hexpharm Jaya Laboratories secara tiba-tiba.

Dari segi biaya, dengan menggunakan cara ini masih lebih rendah daripada *maintenance* total. Penggantian *bearing* dianggap dapat menekan biaya perbaikan pada mesin SMG. Waktu 3 hari yang dipakai untuk penggantian *bearing* lebih sedikit daripada pembongkaran total yang biasa memerlukan 1 minggu perbaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. D. Tsakatikas, S. Diplaris, and M. Sfantsikopoulos, “*Spare parts criticality for unplanned maintenance of industrial systems*,” 2008.
- [2]. M. Landin, P. York, M. J. Cliff, R. C. Rowe B’, and A. J. Wigmore, “*international journal of pharmaceutics Scale-up of a pharmaceutical granulation in fixed bowl mixer-granulators*,” 1996.
- [3]. N. Samikkanu and A. M. J. Basha, “*Effects of misalignment of high-speed flexible coupling on the fighter aircraft transmission characteristics*,” *International Journal of Fluid Machinery and Sitems*, vol. 5, no. 2, pp. 91–99, Jun. 2012, DOI: 10.5293/IJFMS.2012.5.2.091.
- [4]. A. Bayu Oktavianto, M. Tamjidillah, and P. Studi Teknik Mesin, “*ANALISIS KEGAGALAN OPERASI COOLING TOWER FAN UNIT 2B PLTU ASAM ASAM*,” vol. 2, 2020, [Online]. Available: <https://ppjp.ulm.ac.id/journals/index.php/rot>
- [5]. J. Wang, Y. Liang, Y. Zheng, R. X. Gao, and F. Zhang, “*An integrated fault diagnosis and prognosis approach for predictive maintenance of wind turbine bearing with limited samples*,” *Renew Energy*, vol. 145, pp. 642–650, Jan. 2020, DOI: 10.1016/j.renene.2019.06.103.
- [6]. H. M. Hashemian, “*Wireless sensors for predictive maintenance of rotating equipment in research reactors*,” *Ann Nucl Energy*, vol. 38, no. 2–3, pp. 665–680, Feb. 2011, DOI: 10.1016/j.anucene.2010.09.012.
- [7]. S. Schwendemann, Z. Amjad, and A. Sikora, “*A survey of machine-learning techniques for condition monitoring and predictive maintenance of bearings in grinding machines*,” *Computers in Industry*, vol. 125. Elsevier B.V., Feb. 01, 2021. DOI: 10.1016/j.compind.2020.103380.
- [8]. D. Rahman and H. Amnur, “*Indri Rahmayuni 133 Monitoring Server dengan Prometheus dan Grafana serta Notifikasi Telegram Jurnal Ilmiah Teknologi Sistem Informasi*,” 2020. [Online]. Available: <http://jurnal-itsi.org>
- [9]. S. Dwiyatno, E. Rakhmat, and O. Gustiawan, “*IMPLEMENTASI VIRTUALISASI SERVER BERBASIS DOCKER CONTAINER*,” vol. 7, no. 2, 2020.
- [10]. F. Mangkusasmito *et al.*, “*Peningkatan Akurasi Sensor GY-521 MPU-6050 dengan Metode Koreksi Faktor Drift*,” *ULTIMA Computing*, vol. XII, no. 2, p. 91, 2020, [Online]. Available: <https://invensense.tdk.com/products/moti>
- [11]. A. A. Rafiq, W. N. Rohman, and S. D. Riyanto, “*Development of a simple and low-cost smartphone gimbal with MPU-6050 sensor*,” *Journal of Robotics and Control (JRC)*, vol. 1, no. 4, pp. 136–140, Jul. 2020, DOI: 10.18196/jrc.1428.