

MODEL ALAT UJI KERUSAKAN PADA POMPA SENTRIFUGAL MENGGUNAKAN SENSOR ACCELEROMETER UNTUK PREDICTIVE MAINTENANCE

Akhmad Danung Yudistira^{1*}, Ridwan Al Alif², Syafrizal Syarief³

^{1,2,3} Politeknik Negeri Jakarta; Jl. Prof. DR. G.A. Siwabessy, Kampus Universitas Indonesia Depok 16425; 021-7270036 ext 217

Riwayat artikel:

Received: 24 Agustus 2023

Accepted: 2 September 2023

Published: 11 September 2023

Keywords:

Pompa sentrifugal, *Vibration*, *Misalignment*, *Predictive maintenance*, *Fast Fourier Transform*

Correspondent Email:

syafrizal.syarief@elektro.pnj.ac.id

Abstrak. Pompa sentrifugal merupakan salah satu jenis pompa yang digunakan dalam berbagai industri, seperti industri pengolahan air. Pengoperasian pompa yang dilakukan secara terus-menerus memungkinkan terjadinya kerusakan, salah satunya *misalignment*, sebagai akibat dari adanya vibrasi atau getaran yang dialami oleh pompa. Adapun sistem pengukuran pada penelitian ini menggunakan sensor *Accelerometer* ADXL345 untuk mendeteksi getaran dengan metode FFT (*Fast fourier transform*) dalam memperoleh data spektrum vibrasi. Hasil dari pengukuran pada kondisi *misalignment* dengan nilai frekuensi 15Hz diperoleh rata-rata getaran sebesar 0.433601mm/s yang mana berdasarkan ISO-10816-3 kondisi tersebut masih tergolong baik, saat frekuensi 20Hz diperoleh rata-rata getaran sebesar 6.249186mm/s di mana kondisi tersebut tergolong masih diizinkan (dapat ditoleransi), dan saat frekuensi 25Hz diperoleh rata-rata getaran sebesar 10.55852mm/s yang tergolong kondisi berbahaya. Selain itu, untuk menjaga produktivitas suatu sistem maka diperlukan suatu pemantauan kondisi dan diagnosis kerusakan pompa secara dini sebagai fungsi dari *predictive maintenance*. Nilai getaran pompa tersebut diprediksi menggunakan metode regresi linier dan dievaluasi berdasarkan standar ISO-10816-3. Dengan sistem *monitoring* dan *logging* sinyal getaran berbasis Node-RED, diperoleh nilai akurasi dalam memprediksi kondisi pompa pada frekuensi 20Hz sebesar 99,87%. Dalam hal tersebut, pompa diprediksi akan mengalami *downtime* dalam waktu 10279.1 detik atau 2.8 jam.

Abstract. Centrifugal pumps are one of type pump used in various industries, such as water treatment industry. Continuous pump operation allows damage, one of which is *misalignment*, as a result of vibrations experienced by the pump. The measurement system in this study uses ADXL345 Accelerometer sensor to detect vibrations with Fast fourier transform method in obtaining vibration spectrum data. The result of measurement in *misalignment* condition with a frequency value of 15Hz, an average vibration is 0.433601mm/s which based on ISO-10816-3, the condition still classified as good, when the frequency value is 20Hz an average vibration is 6.249186mm/s which the condition still permitted (tolerable), and when the frequency value is 25Hz an average vibration is 10.55852mm/s which classified as a dangerous. Besides that, to maintain the productivity of system, it's necessary to monitor condition and diagnose of pump damage early as a function of *predictive maintenance*. The value of pump vibration is predicted using linear regression method and evaluated based on ISO-10816-3 standard. With vibration signal monitoring and logging system Node-RED based, obtained an accuracy value in predicting pump conditions at frequency 20Hz is 99.87%. In this case, the pump is predicted to experience *downtime* within 10279.1 seconds or 2.8 hours.

1. PENDAHULUAN

Pompa sentrifugal merupakan salah satu jenis pompa yang sering digunakan pada industri pengolahan air, baik air limbah maupun air bersih. Pompa sentrifugal juga dapat digunakan pada industri pengolahan minyak. Seiring dengan pemakaian pompa yang terus-menerus maka memungkinkan pompa akan rusak. Oleh karena itu perawatan terhadap pompa sentrifugal sangat penting [1].

Dalam menjalankan fungsi pompa sentrifugal ada beberapa faktor yang mempengaruhi, salah satunya vibrasi atau getaran. Salah satu indikator yang baik untuk menentukan apakah suatu peralatan yang berputar dalam kondisi baik atau tidak adalah vibrasi, semakin kecil nilai vibrasi semakin baik peralatan tersebut, sebaliknya apabila suatu peralatan yang berputar mempunyai vibrasi yang besar maka kondisi peralatan tersebut cukup rawan kerusakan [2].

Kerusakan ini biasanya disebabkan karena beberapa hal diantaranya kerusakan yang disebabkan oleh kesalahan mekanik dan kerusakan yang disebabkan karena permasalahan *bearing*. Kerusakan mekanik contohnya *misalignment*, *unbalance*, dan juga *looseness*. Sedangkan untuk masalah *bearing* itu berupa BPFO, BPFI, BSF, dan FTF [3].

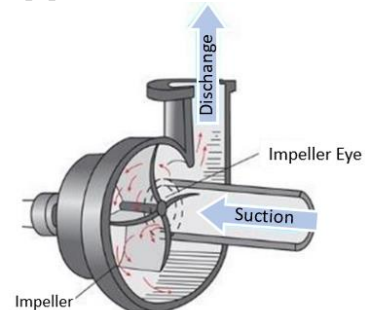
Diagnosis yang benar dan deteksi dini kerusakan awal dapat digunakan untuk mengklasifikasikan kondisi motor atau pompa dalam keadaan baik atau rusak [4]. *Predictive maintenance* adalah tindakan-tindakan *maintenance* yang dilakukan pada tanggal yang ditetapkan berdasarkan prediksi hasil analisa dan evaluasi data operasi yang diambil untuk melakukan *predictive maintenance* itu dapat berupa getaran, suhu, vibrasi, *flow rate* dan lain lainnya [5].

Pembahasan pada penelitian ini adalah terkait kerusakan akibat pengaruh *misalignment*. *Misalignment* adalah kondisi dimana terjadi penyimpangan pada titik pusat antara dua poros yang dihubungkan (dua poros tidak terletak pada satu sumbu). *Misalignment* terjadi karena adanya pergerakan atau penyimpangan salah satu bagian mesin dari garis porosnya [6].

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pompa Sentrifugal

Pompa dengan jenis sentrifugal merupakan salah satu pompa yang sering digunakan di Industri. Cara kerja pompa sentrifugal adalah dengan memanfaatkan gaya sentrifugal yang dihasilkan oleh impeller yang berputar. Fluida akan masuk melalui pusat impeller dan dikeluarkan melalui sudut-sudut keluaran impeller. Sesuai hukum Bernoulli jika kecepatan meningkat maka tekanan akan menurun, hal ini menyebabkan terjadinya zona tekanan rendah (vakum) pada sisi isap pompa [1].



Gambar 1. Bagian Pompa Sentrifugal

Dalam penelitian ini pompa sentrifugal dihubungkan dengan penggerak motor induksi 3 phase seperti pada Gambar 2 agar impeller seperti pada Gambar 1 dapat berputar sehingga terjadilah zona tekanan rendah pada sisi hisap (*suction*) pompa.

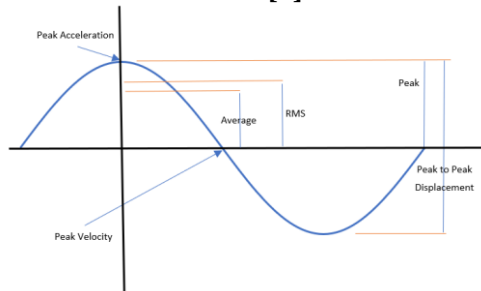


Gambar 2. Motor Induksi 3 Phase

Motor induksi tiga fasa adalah alat penggerak yang paling banyak dipergunakan dalam industri. Hal ini dikarenakan motor induksi memiliki konstruksi yang sederhana, kokoh, harganya cukup murah, dan perawatannya yang praktis, sehingga motor induksi mulai menggeser penggunaan motor DC pada industri [7].

2.2 Vibration

Getaran adalah gerakan bolak-balik di sekitar titik keseimbangan dalam suatu waktu interval tertentu [2].



Gambar 3. Karakteristik Getaran

Pada Gambar 3, perpindahan getaran ditunjukkan pada getaran dengan jarak yang ditempuh dari suatu puncak ke puncak (*peak to peak*). Perpindahan tersebut pada umumnya dinyatakan dalam satuan mikron (μm) atau *mils* [8].

2.2.1 Kecepatan Getaran

Pada Gambar 3, kecepatan getaran dinotasikan dengan dua keadaan yaitu (*peak*) dan menurut ISO menggunakan (*rms*). Pada gerak periodik getaran, kecepatan maksimum terjadi pada titik (posisi netral), sedangkan kecepatan minimum pada titik puncak atas dan titik puncak bawah. Kecepatan getaran maksimum biasanya dalam satuan: mm/s-pk . Untuk *root mean square* (RMS), nilai *peak* = $1,414 \times$ nilai *rms* [8].

2.2.2 Percepatan Getaran

Pada Gambar 3, kecepatan getaran adalah nol titik puncak atas dan titik puncak bawah, tetapi pada bagian-bagian tersebut akan mengalami percepatan nilai maksimum. Sedangkan pada kondisi netral percepatan getaran adalah nol. Secara teknis percepatan adalah laju perubahan dari kecepatan. Percepatan getaran pada umumnya dinyatakan dalam satuan “g” (percepatan yang disebabkan oleh gaya gravitasi pada permukaan bumi). Satuan gravitasi pada permukaan bumi “g” adalah $9,0665 \text{ m/s}^2$ [8].

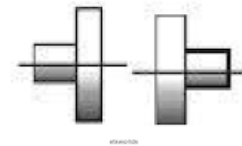
2.3 Misalginment

Misalignment berasal dari *shaft* bengkok atau *bearing* yang tidak center serta poros pada kopling yang tidak sejajar. *Misalignment* terjadi karena adanya

pergerakan atau penyimpangan salah satu bagian mesin dari garis porosnya [6].

2.3.1 Parallel Misalignment

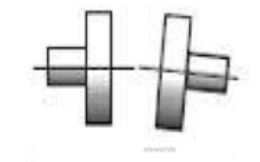
Merupakan posisi dari kedua poros dalam keadaan yang tidak sejajar dengan ketinggian berbeda pada kedua poros tersebut seperti gambar berikut,



Gambar 4. Parallel Misalignment

2.3.2 Angular Misalignment

Merupakan ketidaklurusan poros dengan posisi yang saling menyudut, sedangkan kedua ujungnya mempunyai ketinggian sama seperti gambar berikut,



Gambar 5. Angular Misalignment

2.3.3 Combination Misalignment

Merupakan ketidaklurusan yang terjadi pada kedua poros dengan saling menyudut dan kedua ujung poros tersebut tidak sama seperti gambar berikut,



Gambar 6. Combination Misalignment

2.4 Fast fourier transform

Fast fourier transform (FFT) merupakan algoritma operasi matematika yang digunakan untuk mentransformasi sinyal analog menjadi sinyal digital berbasis frekuensi. *Fast fourier transform* (FFT) membagi sebuah sinyal menjadi frekuensi yang berbeda-beda dalam fungsi eksponensial yang kompleks. *Fast fourier transform* (FFT) adalah algoritma untuk menghitung transformasi *fourier* diskrit dengan cepat dan efisien. Karena sinyal-sinyal dalam sistem komunikasi bersifat kontinu, sehingga hasilnya dapat digunakan untuk transformasi *fourier* [9].

Fast fourier transform (FFT) dinyatakan dalam Persamaan 1,

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (1)$$

$S(f)$ = Sinyal dalam domain frekuensi (frequency domain)

$s(t)$ = Sinyal dalam domain waktu (time domain)

$s(t)e^{-j2\pi ft}$ = Konstansi nilai sebuah sinyal

f = Frekuensi

t = Waktu

Dengan menggunakan analisis *fourier*, maka representasi amplitudo dalam domain waktu akan ditransformasikan sehingga menjadi representasi amplitudo dalam domain frekuensi.

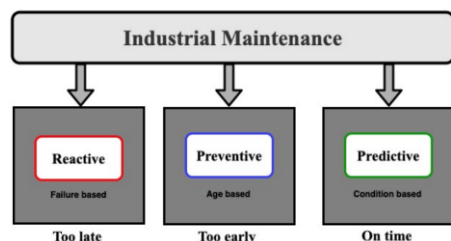


Gambar 7. Analisis Fourier

Sumbu x mewakili frekuensi dan sumbu y mewakili nilai amplitudonya. Dalam mengubah domain waktu menjadi domain frekuensi dapat menggunakan *software* LabVIEW.

2.5 Predictive maintenance

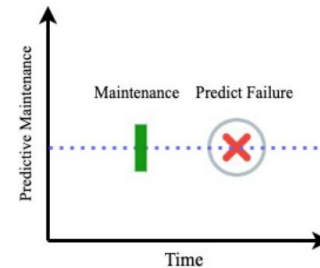
Untuk memaksimalkan proses produksi dan keandalan pada peralatan, berbagai jenis perawatan dapat dilakukan berdasarkan sumber daya yang ada. Jenis perawatan industri yang paling umum adalah,



Gambar 8. Jenis-Jenis Perawatan di Industri

Berdasarkan Gambar 8, untuk memaksimalkan kinerja Pompa sentrifugal perawatan yang dipilih adalah *Predictive maintenance* atau sering disebut juga *Condition Based Maintenance* karena

penjadwalan kegiatan perawatan dilakukan dengan cara menganalisa data historis dari kondisi-kondisi yang pernah terjadi pada pompa sentrifugal sehingga perawatan dapat dilakukan tepat sebelum terjadinya *downtime* pada pompa sentrifugal seperti pada gambar 9 berikut.



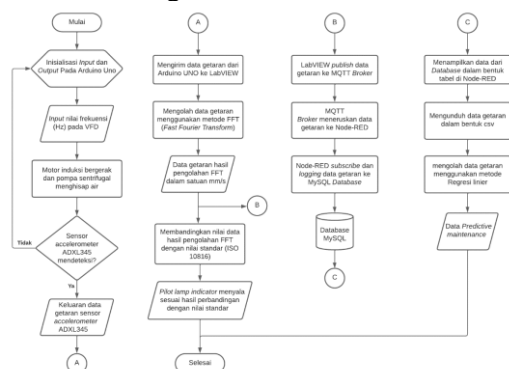
Gambar 9. Predictive maintenance overview

Predictive maintenance adalah tindakan– tindakan *maintenance* yang dilakukan pada tanggal yang ditetapkan berdasarkan prediksi hasil analisa dan evaluasi data operasi yang diambil untuk melakukan *predictive maintenance* itu dapat berupa getaran, suhu, vibrasi, *flow rate* dan lain lainnya [4].

Total Productive Maintenance (TPM) merupakan suatu filosofi yang bertujuan untuk memaksimalkan efektivitas dari fasilitas yang digunakan di industri, tidak saja dialamatkan pada perawatan saja tapi semua aspek dari operasi dan instalasi dari fasilitas produksi [10].

3. METODE PENELITIAN

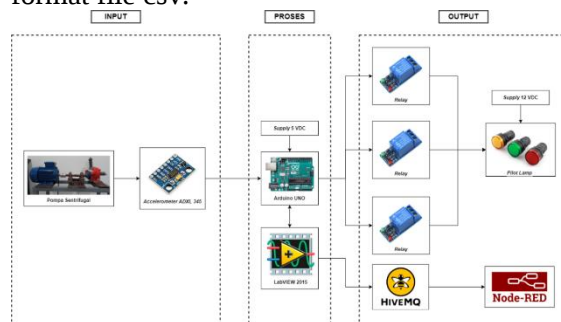
Dalam penelitian ini penulis membuat suatu model alat uji kerusakan pada pompa sentrifugal dengan spesifikasi 1 HP (0.75 kW), 2 pole, dan 2900 rpm. Gambar 10 menunjukkan *flowchart* cara kerja alat yang telah dirancang.



Gambar 10. Flowchart Cara kerja Alat

Kerja sistem diawali dengan inisialisasi input dan output ke Arduino UNO. Selanjutnya dilakukan akuisisi data sinyal getaran sensor *accelerometer* ADXL345. Data sinyal getaran yang didapati diubah dari satuan “g” menjadi “ mm/s^2 ”. Kemudian, data sinyal getaran diolah menggunakan *Fast fourier transform* (FFT) dan dilakukan perhitungan agar didapatkan nilai *vibration velocity* sehingga sesuai dengan satuan pada tabel standar ISO 10816. Setelah itu, data *vibration velocity* dibandingkan dengan nilai pada tabel standar machine *vibration* ISO 10816. Hasil perbandingan data sinyal getaran akan memberikan masukan ke *pilot lamp indicator* untuk menyala, masing-masing warna memiliki arti tersendiri. Warna hijau memiliki arti kondisi mesin dalam keadaan baik, warna kuning memiliki arti kondisi mesin dalam keadaan masih diizinkan, dan warna merah memiliki arti kondisi mesin dalam keadaan tidak baik (membutuhkan *maintenance*).

Nilai getaran selanjutnya di-publish ke HiveMQ sebagai MQTT Broker dan diteruskan ke MQTT client. Node-RED sebagai MQTT client men-subscribe topik yang sesuai dengan konfigurasi MQTT di LabVIEW. Selanjutnya Nilai getaran tersebut akan divisualisasikan dalam bentuk grafik dan di-*logging* ke *database* MySQL yang selanjutnya dapat diunduh dalam format file csv.



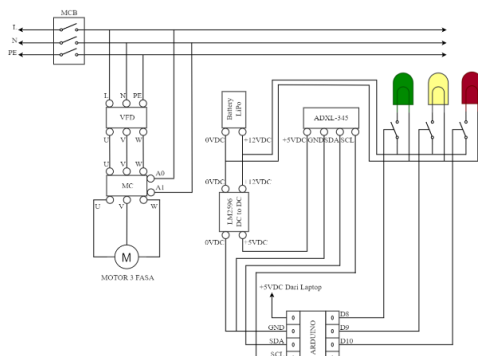
Gambar 11. Diagram Blok Sistem

Pada awalnya alat uji ini menggunakan tiga buah sensor *accelerometer* ADXL-345 sebagai input berupa nilai percepatan dalam " mm/s^2 ". Tiga buah sensor tersebut terhubung dengan Arduino UNO yang terintegrasi dengan *software* LabVIEW untuk diolah data hasil nilai pengukuran getarannya. Namun setelah

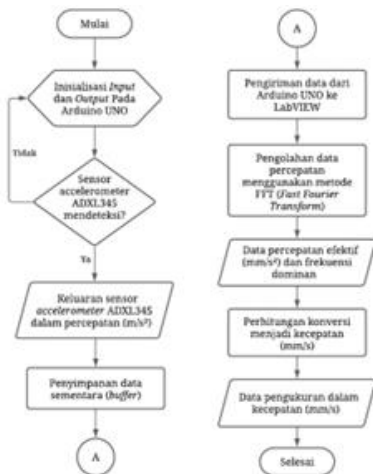
dilakukan pengujian untuk menggunakan tiga buah sensor *accelerometer* tidak memungkinkan untuk mengambil data getaran karena pendeteksian sensor mengalami *delay* dan sering terganggu bahkan berhenti. Sehingga pengukuran sinyal getaran menggunakan satu buah sensor *accelerometer* ADXL-345 seperti pada Gambar 11 diatas.

Selanjutnya data yang sudah diolah menggunakan metode FFT di *software* LabVIEW akan dikirim ke platform HiveMQ sebagai broker MQTT lalu diteruskan ke platform Node-RED untuk dilakukan pemantauan. Selain itu, hasil pengolahan data pada LabVIEW akan memberikan masukan ke pilot lamp indicator untuk menyala, yang masing-masing warnanya memiliki arti tersendiri. Data yang ter-subscribe oleh Node-RED akan disimpan di *database* dan datanya dapat diunduh dalam bentuk “.csv”. Data getaran yang telah diunduh akan diolah menggunakan regresi linier untuk melihat tren getaran dimasa mendatang sehingga dapat dibuat prediksi terkait waktu *maintenance* alat dan kondisi alatnya.

Electrical wiring diagram seperti pada Gambar 12 diperlukan agar memudahkan dalam melakukan *wiring* dari model alat uji yang telah dirancang. Pada bagian motor penggerak terhubung dengan MC (*Contactor*) untuk mengantisipasi terjadinya arus balik dari motor menuju VFD. Kemudian MC (*Contactor*) terhubung dengan VFD sebagai pengatur kecepatan gerak motor. Selain itu, terdapat juga Baterai LiPo yang berfungsi memberi tegangan DC murni, serta LM2596 (modul stepdown) untuk menurunkan tegangan dari 12V menjadi 5V, sedangkan *supply* Arduino UNO R3 langsung dari Laptop. Seluruh *wiring* kelistrikan tersebut diproteksi dengan MCB (Miniature Circuit Breaker) sebagai pemutus sumber listrik utama.

Gambar 12. *Electrical wiring diagram*

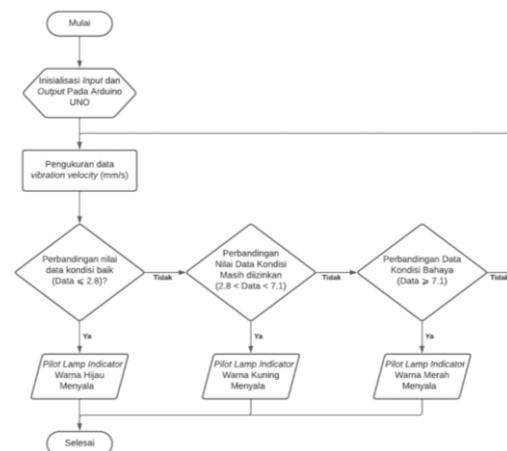
Pada proses pengukuran sinyal getaran diawali dengan inisialisasi input dan output pada Arduino UNO. Kemudian data yang telah berhasil dideteksi oleh sensor *accelerometer* ADXL345 dikirim dari Arduino UNO ke LabVIEW untuk dilakukan pengolahan data menggunakan FFT (*Fast fourier transform*). Hasil pengolahan FFT kemudian dilakukan perhitungan untuk dikonversi menjadi satuan kecepatan (mm/s). Gambar 13 menampilkan diagram alir pada proses sistem pengukuran sinyal getaran.

Gambar 13. *Flowchart Sistem Pengukuran Sinyal Getaran*

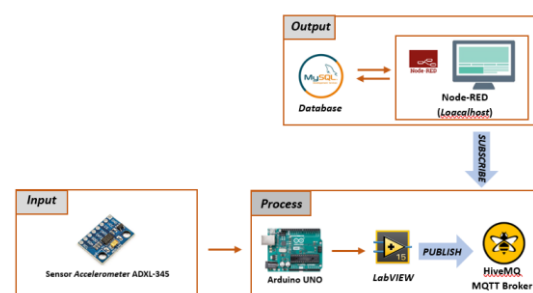
Hasil pengukuran data dalam *vibration velocity* dibandingkan dengan tabel standar *machine vibration* ISO 10816 seperti pada Tabel 1 [11]. Gambar 14 menampilkan digram alir pada program indikator kondisi.

Tabel 1. ISO 10816

VIBRATION SEVERITY PER ISO 10816					
Machine		Class I small machines	Class II medium machines	Class III large rigid foundation	Class IV large soft foundation
	in/s	mm/s			
Vibration Velocity Vrms	0.01	0.28			
	0.02	0.45			
	0.03	0.71		good	
	0.04	1.12			
	0.07	1.80			
	0.11	2.80		satisfactory	
	0.18	4.50			
	0.28	7.10		unsatisfactory	
	0.44	11.2			
	0.70	18.0			
0.71	28.0		unacceptable		
1.10	45.0				

Gambar 14. *Flowchart Program Indikator Kondisi*

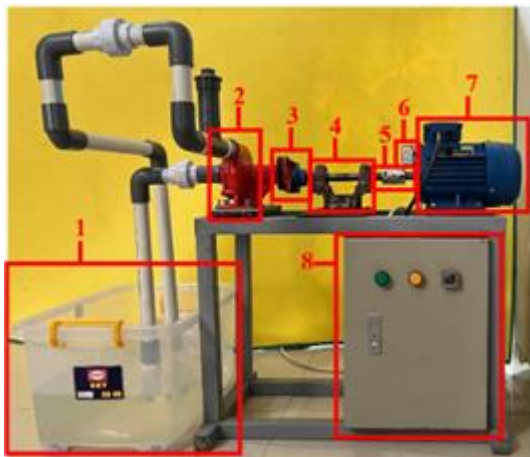
Untuk akusisi data dari LabVIEW ke platform IoT menggunakan Node-RED dijelaskan menggunakan diagram seperti pada Gambar 15 Berikut,

Gambar 15. *Diagram Blok Sistem Monitoring*

Pada Gambar 15, diagram blok sistem monitoring terdiri dari tiga blok yaitu *input*, *process*, dan *output*. Pada blok input terdapat sensor *accelerometer* ADXL-345 untuk pendeteksian sinyal getaran. Blok *process* terdiri dari kontroler yaitu Arduino UNO yang diprogram menggunakan LabVIEW dengan fungsi publish data ke *broker* menggunakan protokol MQTT. Lalu pada blok output terdapat Node-RED yang

dijalankan di *Localhost* pada device laptop dan juga *database* *mySQL* sebagai penyimpanannya.

Pembuatatan model alat uji kerusakan pada penelitian ini menggunakan rangkaian pompa sentrifugal yang dihubungkan ke penggeraknya menggunakan *pulley* seperti pada Gambar 16 keterangan nomor 3. *Shaft* yang tersambung dengan *pulley* dihubungkan dengan *shaft* pada motor induksi menggunakan *couple*. Untuk pengujian getarannya menggunakan air yang ditampung menggunakan *box container* seperti pada Gambar 17 keterangan nomor 1.



Gambar 16. Tampak Depan Model Alat Uji Kerusakan Pada Pompa Sentrifugal



Gambar 17. Tampak dalam Panel

Tabel 2. Keterangan Gambar Pada Rancang Bangun Alat

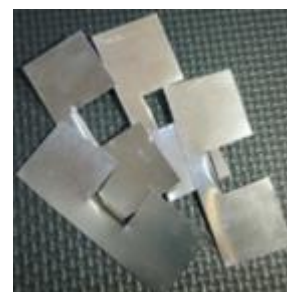
Keterangan Gambar	
1. Box Container	10. MCB 2 Pole
2. Centrifuge Cooling Water Pump	11. Baterai LiPo 3S 12V 800mah
3. Pulley	12. Contactor

4. Bearing (Pillow Block)	13. Modul Stepdown
5. Couple	14. Arduino UNO
6. Sensor ADXL345	15. VFD (Variable Frequency Drive)
7. Motor Induksi 3 Phase	16. Pilot Lamp
8. Panel	17. Modul Relay
9. MCB 3 Pole	

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Kondisi Normal dan Misalignment

Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai getaran dan frekuensi yang didapatkan pada saat pengukuran baik pada kondisi normal atau pada saat diberi pengaruh *misalignment*. Pada pengujian *misalignment* digunakan plat alumunium setebal 0.2 mm yang dipasang pada dudukan motor tiga phasa, sehingga kondisi antar dua poros yang dihubungkan dengan *couple* menjadi tidak sejajar. Gambar 18 menunjukkan plat yang digunakan, sedangkan Gambar 19 menunjukkan kondisi motor induksi yang telah dipasang plat.



Gambar 18. Plat Alumunium 0.2mm



Gambar 19. Motor Induksi yang Telah Dipasang Plat

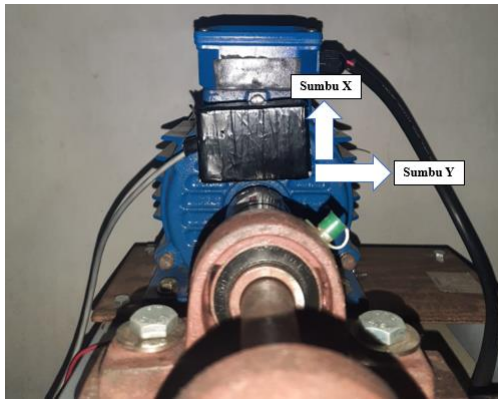
Pengujian dilakukan pada nilai frekuensi VFD 15 Hz, 20 Hz, dan 25 Hz dengan mempertimbangkan model alat uji yang dibuat dan pengaruh yang diberikan.

Hasil ukur kecepatan motor berdasarkan frekuensi dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Ukur Kecepatan Motor Berdasarkan Frekuensi

Frekuensi VFD (Hz)	Kecepatan Motor (rpm)
15	900
20	1200
25	1500

Data yang diambil pada pengujian ini adalah data getaran pada sumbu x, seperti yang tertera pada Gambar 20. Pengambilan data adalah sebanyak 200 data baik kondisi normal dan *misalignment*. Hasil data pengujian kemudian dilakukan rata-rata nilai dan didapatkan data seperti pada Tabel 4 dan Tabel 5.



Gambar 20. Posisi Penempatan Sensor

Tabel 4. Rata-Rata Nilai Pada Kondisi Normal

VFD (Hz)	mm/s	mm/s ²	Hz
15	2.40	201.76	13.43
20	3.52	405.68	18.34
25	6.74	1000.21	23.61

Tabel 5. Rata-Rata Nilai Pada Kondisi *Misalignment*

VFD (Hz)	mm/s	mm/s ²	Hz
15	0.43	225.34	85.30
20	6.25	406.40	16.97
25	10.56	763.91	13.76

Untuk mendapatkan nilai konversi dari percepatan (a) menjadi kecepatan (v) ditunjukkan pada persamaan (2).

$$v = \frac{a}{2\pi f} \quad (2)$$

f adalah frekuensi hasil pengukuran.

Berdasarkan Tabel 4 terlihat bahwa nilai frekuensi yang terukur pada setiap pengujian mendekati nilai frekuensi input VFD. Pada pengujian 15 Hz didapati kondisi baik, pengujian 20 Hz didapati kondisi masih diizinkan, dan pengujian 25 Hz didapati kondisi masih diizinkan. Berdasarkan Tabel 5 terlihat bahwa nilai frekuensi yang terukur pada setiap pengujian cenderung jauh dari nilai frekuensi input VFD. Pada pengujian 15 Hz didapati kondisi baik, pengujian 20 Hz didapati kondisi masih diizinkan, dan pengujian 25 Hz didapati kondisi bahaya.

4.2 Pengujian *Predictive maintenance*

Pengujian *Predictive maintenance* dilakukan untuk mengetahui seberapa besar ketepatan nilai prediksi getaran diwaktu tertentu. Dalam pengujian ini mengambil satu sampel getaran perdetik dan diuji pada kondisi normal dengan frekuensi 20 Hz selama 200 detik sehingga mendapat 200 sampel data getaran. Selanjutnya nilai getaran yang didapat diolah menggunakan metode Analisa data pada Ms. Excel untuk mendapatkan nilai persamaan regresinya.

Setelah dilakukan metode Analisa data menggunakan command Regresi pada Ms. Excel didapatkan nilai intercept(a) dan koefisien variabel X(b) seperti berikut,

$$\begin{aligned} a &= 3.522887 \\ b &= 0.000348 \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan nilai intercept dan nilai koefisien variabel X masukan nilai tersebut pada persamaan (3) yaitu,

$$Y = a + bX \quad (3)$$

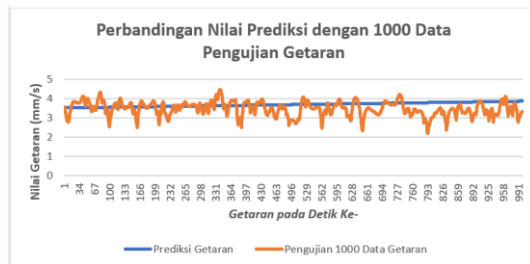
Dimana,

$$\begin{aligned} Y &= \text{variabel terikat (nilai getaran pada sumbu X)} \\ a &= \text{intercept} \\ b &= \text{Koefisien variabel X} \\ X &= \text{Variabel bebas (waktu dalam detik)} \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan persamaan regresinya yaitu,

$$Y = 3.522887 + 0.000348X \quad (4)$$

Selanjutnya penulis melakukan prediksi nilai getaran pada sumbu X untuk 1000 sampel data dengan memasukan nilai variabel bebas yaitu nilai 1-1000 pada persamaan (4) untuk merepresentasikan 1000 detik pengujian. Dan didapatkan nilai prediksi yang ditampilkan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 21



Gambar 21.

Berdasarkan grafik diatas didapatkan hasil bahwa untuk pengujian menggunakan 200 sampel data getaran dapat memprediksi hingga 1000 detik pengujian. Setelah dibandingkan dengan pengambilan data pada 1000 detik pengujian alat pada kondisi normal di frekuensi 20 Hz didapatkan persentase error-nya sebesar 0,112%. Dengan persentase error tersebut untuk prediksi terhadap nilai getaran untuk 1000 detik mendapat akurasi sebesar 99,88%.

Dengan menggunakan persamaan (4) dapat digunakan untuk memprediksi waktu *Downtime* pompa sentrifugal. Pada penulisan ini waktu *Downtime* pompa sentrifugal ditentukan dengan tabel standar ISO 10816. Pada tabel tersebut terdapat range nilai getaran yang tidak diizinkan untuk pompa sentrifugal yaitu pada nilai >7.1 mm/s. waktu *Downtime* pada pompa dapat dihitung dengan,

$$X = \frac{7.1 - 3.522887}{0.000348}$$

$$X = 10279.1 \text{ (Detik)}$$

Berdasarkan perhitungan di atas didapatkan apabila pompa sentrifugal bekerja pada kondisi normal dan dengan mengambil sampel 200 data, nilai getaran mencapai kondisi *Downtime* dalam waktu 10279.1 detik atau sama dengan 2,8 Jam.

5. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari hasil pengujian adalah sebagai berikut:

- Dari hasil pengujian kondisi normal didapatkan nilai *vibration velocity* (v) frekuensi input VFD 15 Hz = 2.40 mm/s, 20 Hz = 3.52 mm/s, dan 25 Hz = 6.74 mm/s. Sedangkan pada pengujian kondisi *misalignment* didapatkan nilai *vibration velocity* (v) frekuensi input VFD 15 Hz = 0.43 mm/s, 20 Hz = 6.25 mm/s, dan 25 Hz = 10.56 mm/s.
- Ketepatan nilai prediksi untuk *predictive maintenance* mendapatkan akurasi sebesar 99,88% untuk 1000 data pengujian alat pada frekuensi 20 Hz. Berdasarkan metode pemrediksian tersebut saat pompa dijalankan pada frekuensi 20 Hz maka pompa diprediksi akan mengalami *downtime* dalam waktu 10279.1 detik atau sama dengan 2,8 Jam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak terkait yang telah memberi dukungan terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. D. Susilo and Z. Arifin, "Analisa Sinyal Getaran Keywords : Abstract :," *Mekanika*, vol. 11 Nmomor, no. 2010, pp. 116–122, 2013.
- [2] I. Hajar, "Pengaruh tipe bantalan bola pada poros pompa sentrifugal terhadap sinyal getaran," *J. POLIMESIN*, vol. 16, no. 1, p. 25, 2018, doi: 10.30811/jpl.v16i1.552.
- [3] B. P. Kaniel, D. A. Nafsaka, B. Riyanta, and A. Asyratul, "Deteksi Kavitasi Pada Pompa Sentrifugal Menggunakan Spektrum Getaran dan Spektrum Envelope," *Semesta Tek.*, vol. 22, no. 1, pp. 1–10, 2019, doi: 10.18196/st.221231.
- [4] M. Nasution, A. Bakhori, and W. Novarika, "Manfaat Perlunya Manajemen Perawatan Untuk Bengkel Maupun Industri," *Bul. Utama Tek.*, vol. 16, No. 3, pp. 248–252, 2021.
- [5] X. Liang, "Temperature estimation and vibration monitoring for induction motors and the potential application in electrical submersible motors," *Can. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 42, no. 3, pp. 148–162, 2019, doi: 10.1109/CJECE.2018.2875111.
- [6] A. Akbar, D. W. Karmiadi, P. Studi, M. Teknik, and U. Pancasila, "Analisis Getaran Pengaruh Variabel Misalignment," *Teknobiz J.*

- Ilm. Progr. Stud. Magister Tek. Mesin*, vol. 11, no. 3, pp. 141–150, 2021, [Online]. Available: <http://journal.univpancasila.ac.id/index.php/teknobiz/article/view/2901>
- [7] M. Arifin and Umar, “Analisis Perbandingan ArusStarting Motor Induksi 3 Fasa Rangkaian Star Delta Denga N Variable Frequency Drive,” *Simp. Nas. RAPI XX–2021 FT UMS*, no. 7, pp. 189–195, 2021.
- [8] B. K. Sunarko, *Analisa Getaran Pada Mesin Sepeda Motor Berbasis Labview*. 2010.
- [9] A. Anggriawan and F. Huda, “Deteksi Kerusakan Motor Induksi Dengan Menggunakan Sinyal Suara,” *Jom FTEKNIK*, vol. 5, no. 1, pp. 1–7, 2018.
- [10] S. Syarief, “Pengukuran Overall Equipment Effectiveness,” *Politeknologi*, vol. 14, no. 2, 2015.
- [11] R. Maerani, P. Teknologi, D. Keselamatan, and R. Nuklir-Batan, “Uji Kondisi Motor Ac 3-Fasa Pada Mesin Untai Uji Beta Menggunakan Teknik Vibrasi,” vol. 18, no. 1, pp. 1–9, 2014.