

## Analisa Getaran Pada Air Fin Cooler Equipment 203-E-003-M4 Akibat Misalignment Poros

Agung Samudra Budi <sup>1\*</sup>, Heroe Poernomo <sup>2</sup>, Adi Wirawan Husodo <sup>3</sup>

Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia<sup>1\*</sup>

Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia<sup>2</sup>

Program Studi Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia<sup>3</sup>

Email: [agungsamudrabudi@gmail.com](mailto:agungsamudrabudi@gmail.com)<sup>1\*</sup>; [heroep@na.its.ac.id](mailto:heroep@na.its.ac.id)<sup>2</sup>; [aw.husodo@gmail.com](mailto:aw.husodo@gmail.com)<sup>3</sup>

**Abstract** – This research performs vibration response analysis on fin cooler water system (AFC). AFC is a fan or blade equipment that rotates and driven by the motor. AFC have problems of high vibration value, so disrupting the production process. From the case obtained the purpose of research to get the value of vibration response that occurs on the shaft of water fin cooler and the influence of misalignment on the shaft. From the vibration data, analyzed the breakdown that occurred. To prevent vibration and breakdown, failure evaluation with Predictive Maintenance method is performed. In the research, the result of natural frequency is 26,77 rad/s and vibration velocity response is 0,0000392 mm/s. Vibration rate response with 0.05 mm shaft misalignment of 0,0000496 mm/s is still permitted by ISO Severity 10618-3 standard. The result of AFC reliability at 24 hours cause a reliability value of 0.995. Then the failure prediction of AFC component will occur at 15773,42 hours or 657 days, then result of the calculation of treatment time after further analysis using dynamic system predicted to be done within 1738 hours or 72 days.

**Keyword:** Air Fin Cooler, Misalignment, MTTF, Predictive Maintenance, Reability, Vibration

### Nomenclature

<b>d</b>	Diameter
<b>g</b>	Gravitasi
<b>G</b>	Modulus geser
<b><math>I_0</math></b>	Momen inersia
<b><math>I_{NA}</math></b>	Momen inersia <i>neutral axis</i>
<b><math>J_0</math></b>	Masa momen inersia
<b><math>k_t</math></b>	Kekakuan
<b><math>l</math></b>	Panjang
<b><math>T_0</math></b>	Besar gaya terpasang
<b>t</b>	Waktu
<b><math>\omega_n</math></b>	Frekuensi natural
<b><math>\omega</math></b>	Frekuensi eksitasi
<b><math>\Phi</math></b>	Amplitudo
<b><math>\dot{\theta}</math></b>	Kecepatan getaran
<b><math>\zeta</math></b>	Faktor peredam
<b><math>\eta</math></b>	Koefisien damping
<b><math>\gamma</math></b>	Gamma
<b><math>\beta</math></b>	Beta

### 1. PENDAHULUAN

Pada penelitian ini dilakukan analisa respon getaran pada sistem *air fin cooler* (AFC). AFC merupakan peralatan berbentuk kipas atau *blade* yang berputar dan digerakan oleh motor. AFC tersebut harus beroperasi pada batas aman sesuai standar ISO 10816-3. Namun pada kenyataanya,

pada AFC mengalami masalah berupa nilai getaran yang tinggi. Getaran tersebut diakibatkan adanya *misalignment* pada poros. *Misalignment* menimbulkan getaran yang berlebihan hingga getaran yang dihasilkan akan mengakibatkan mesin mudah mengalami kerusakan, sehingga mengganggu kelancaran proses produksi. Agar dapat meminimalkan peralatan *shut down* secara tiba-tiba dan menghentikan proses produksi di suatu industri atau perusahaan yang proses produksinya berlangsung secara terus-menerus, dilakukan teknik perawatan yang dikembangkan adalah *Predictive Maintenance* merupakan perawatan yang bersifat prediksi (memprediksi kerusakan-kerusakan yang terjadi), dalam hal ini merupakan evaluasi perawatan berkala (*Preventive Maintenance*).

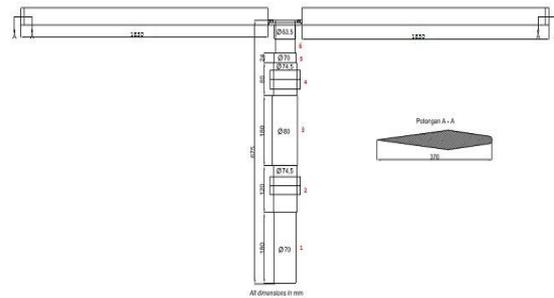
Sebagaimana umum terjadi pada mekanisme mesin yang berputar, dalam menganalisa karakteristik AFC sumbu vertikal, maka pengaruh getaran harus diperhatikan. Khususnya getaran yang terjadi pada poros AFC akibat *misalignment*. Karakteristik getaran yang perlu dilakukan analisa salah satunya adalah getaran torsional dimana karakteristik tersebut nantinya akan menjadi

informasi penting bagi perancang sistem perporosan. Oleh karena pentingnya informasi tersebut, maka telah banyak penelitian yang dilakukan terkait getaran torsional poros untuk berbagai studi literatur. Pada penelitian yang dilakukan oleh Rahayu melakukan pengujian dan analisis terhadap arus dan getaran yang terjadi pada motor induksi fase 3 yang diakibatkan oleh *misalignment*. Objek yang diteliti adalah motor induksi 3 phase 180 W, dengan sistem kontrol DOL (*Dirrect On Line*). Arus yang dihasilkan dari *Current Transformer* dianalisa menggunakan metode FFT (Fast Fourier Transform). Bersamaan dengan analisa spektrum getaran yang dihasilkan dari accelerometer. Untuk selanjutnya dianalisa dan dibuat grafik. Dari hasil percobaan pada motor diperoleh perbedaan spektrum arus dan spektrum getaran ketika motor kondisi *alignment*, *angular misalignment*, dan *offset misalignment* [1]. Pada penelitian yang dilakukan oleh Maulida melakukan penelitian dengan menggunakan metode *Predictive Maintenance* merupakan salah satu metode untuk merawat alat. Salah satu instrumen yang sering dijadikan penerapan *Predictive Maintenance* adalah *rotary machine*. Percobaan dilakukan pada 3 arah secara axial, vertikal, horisontal kemudian didapatkan masing-masing grafik dengan menggunakan analisa spectrum frekuensi dari MATLAB. Kesimpulan yang dapat diambil antara lain hasil monitoring vibrasi terhadap pompa didapatkan jenis kerusakan *unbalance* dikarenakan posisi putaran tidak seimbang akibat adanya ketidakseimbangan impeller (*unbalanced*) [2].

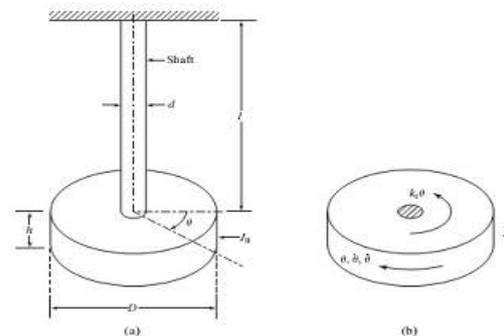
Sedangkan pada penelitian ini dilakukan analisa getaran pada AFC akibat *misalignment* poros. Dari data getaran tersebut dianalisis kerusakan-kerusakan yang terjadi. Untuk mencegah getaran terjadi maka dilakukan evaluasi kegagalan dengan menggunakan metode *Predictive Maintenance*.

## 2. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan mulai dengan tahap peninjauan dan pengumpulan data dari perusahaan. Langkah awal penelitian ini yaitu melakukan pemodelan matematis sistem. Model AFC sumbu vertikal yang digunakan sebagai objek penelitian. Yang tersusun atas poros (*carbon steel*), 6 buah *aluminum blade*. Berikut spesifikasi dimensi model AFC yaitu panjang keseluruhan poros 675 mm, diameter 1 poros 70 mm, diameter 2 poros 74,5 mm, diameter 3 poros 80 mm, diameter 4 poros 74,5 mm, diameter 5 poros 70 mm, diameter 6 poros 63,5 mm. kemudian Panjang *blade* 1830 mm dan lebar 370 mm. Seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Model AFC Sumbu Vertikal



Gambar 2. Model Diagram Benda Bebas

Penelitian objek ini diawali dengan menggambarkan diagram benda bebas (*free body diagram*) model dan menentukan berapa besar derajat kebebasan (*degree of freedom*) yang menyusunnya. Dengan mengacu pada diagram benda bebas tersebut kemudian disusun persamaan matematis yang menggambarkan gerakan torsional model seperti pada Gambar 2. Model sistem AFC sumbu vertikal dimodelkan dalam bentuk sistem poros yang menggantung dengan 1 massa terkonsentrasi (*lump mass*), dimana konsentrasi massa tersebut berasal dari massa daun kipas (*blade*).

$$J\ddot{\theta} + \eta\dot{\theta} + k\theta = T_0 \sin \omega t \quad (1)$$

Persamaan di atas menggambarkan gerakan dari massa *lump*.  $J$  adalah momen inersia massa polar dari massa *lump* ( $\text{kg m}^2$ ),  $\eta$  adalah koefisien redaman torsional poros ( $\text{Nsm/rad}$ ),  $k$  adalah koefisien pegas torsional poros ( $\text{Nm/rad}$ ). Sedangkan  $T_0$  adalah besarnya eksitasi torsi pada poros AFC ( $\text{Nm}$ ) [3].

Perhitungan frekuensi natural, frekuensi natural ( $\omega_n$ ) adalah frekuensi sistem yang mempunyai getaran bebas tanpa gesekan. Rumus persamaanya sebagai berikut.

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k_t}{J_0}} \quad (2)$$

Untuk mendapatkan nilai frekuensi natural ( $\omega_n$ ) maka dibutuhkan perhitungan momen inersia ( $I$ ) dari *shaft* AFC, serta perhitungan koefisien kekakuan ( $k$ ). Momen inersia *shaft*, momen inersia adalah ukuran kelembaman suatu benda untuk berotasi terhadap porosnya. Rumus persamaanya sebagai berikut [3].

$$I_0 = \frac{\pi d^4}{32} \quad (3)$$

Untuk poros yang berongga menggunakan rumus sebagai berikut [4].

$$I_0 = \frac{\pi}{32} \times [(d_0)^4 - (d_i)^4] \quad (4)$$

Koefisien *stiffness* adalah kekerasan objek sejauh mana ia menentang sebagai tindak balas gunaannya. Rumus persamaanya sebagai berikut [3].

$$k_t = \frac{G I_0}{l} \quad (5)$$

Respon kecepatan getaran adalah kecepatan gerakan bolak balik pada suatu periode waktu tertentu. Kecepatan ini selalu berubah sepanjang jarak yang ditempuhnya, dimana pada posisi positif maximum dan negatif maximum kecepatan adalah nol. Untuk mengetahui nilai respon yang dihasilkan menggunakan rumus persamaan sebagai berikut [5].

$$\dot{\theta} = -\Phi e^{-\zeta \omega_n t} \cos \omega_d t \quad (6)$$

Pemodelan *software* MATLAB. Setelah didapatkan perhitungan manual, dilanjutkan penyederhanaan dengan transformasi laplace lalu hasil nilai tersebut di *input* kedalam *software* MATLAB. Pemodelan ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisa respon getaran pada sistem AFC tersebut.

Perhitungan *misalignment*. Dalam hal ini *misalignment* dihitung untuk mendapatkan hasil kecepatan getaran sesuai dengan variasi kemiringan sudut poros yang akan divariasikan. kemiringan poros divariasikan sesuai batas *clearance* sebesar 0,05 mm. Kemiringan poros dihitung menggunakan rumus persamaan sebagai berikut [6].

$$I_{NA} = I_0 + A d^2 \quad (7)$$

Tahap *predictive maintenance* dengan cara memprediksi kerusakan komponen AFC dengan menganalisa komponen tersebut sebelum terjadinya kerusakan atau kegagalan operasi. Dengan cara menghitung TTF (*time to failure*), uji distribusi, keandalan, *mean time to failure*

(*MTTF*), *mean time to repair* (*MTR*). Untuk mengetahui TTF dengan menghitung jarak kerusakan setiap tahun atau komponen tersebut mengalami kerusakan, hasil dari TTF di *input* ke *software weibull*  $\delta++$  untuk mengetahui hasil distribusi yang sesuai dan didapatkan parameternya, untuk mengetahui nilai keandalan menggunakan rumus persamaan sebagai berikut [7].

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad (8)$$

Nilai *mean* dari suatu distribusi berguna dalam keandalan untuk mencari nilai rata-rata waktu kerusakan, karena komponen yang rusak dalam waktu yang berlainan susah untuk diramalkan. Rumus persamaanya sebagai berikut [8],[9].

$$MTTF = \gamma + \eta \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) \quad (10)$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil perhitungan, didapatkan nilai-nilai parameter sebagai berikut.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Frekuensi

Notasi	Parameter	Value	Unit
$k_t$	Koefisien <i>stiffness</i>	374517,66	Nm /rad
$J_0$	Massa momen inersia polar	522,42	kg. m <sup>2</sup>
$\omega_n$	Frekuensi natural	26,77	rad/s

Tabel 2. Hasil Perhitungan Getaran

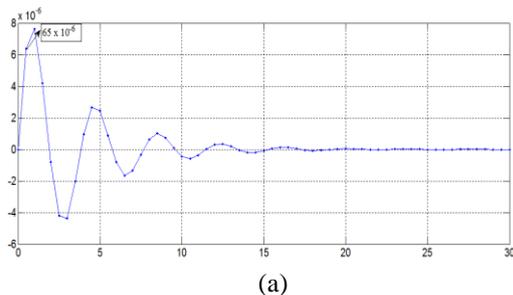
Notasi	Parameter	Value	Unit
$\Phi$	Amplitudo	0,00001238	rad
$\zeta$	Koefisien Damping	0,01	
$\omega_n$	Frekuensi Natural	26,77	rad/s
$\omega$	Frekuensi Eksitasi	153,33	rad/s
$\omega_d$	Frekuensi Damping	26,76	rad/s
T	Time (Waktu)	0,5	sec
$\dot{\theta}$	Kecepatan Getaran	0,0000392	mm/s

Tabel 3. Hasil Perhitungan *Misalignmen* dan Getaran

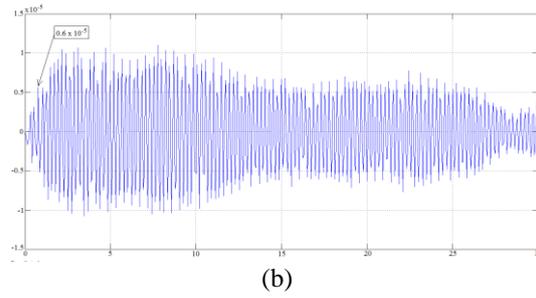
Notasi	Parameter	Value	Unit
$k_t$	Koefisien <i>stiffness</i>	389691,83	Nm /rad
$\Phi$	Amplitudo	0,00001238	rad
$\omega_n$	Frekuensi Natural	27,31	rad/s
$\omega_d$	Frekuensi Damping	27,30	rad/s
T	Time (Waktu)	0,5	Sec
$\dot{\theta}$	Kecepatan Getaran	0,0000496	mm/s

Dari hasil perhitungan yang ditunjukkan pada Tabel 1 dengan hasil koefisien *stiffness* sebesar 374517,66 Nm/rad, massa momen inersia polar sebesar 522,42 kg m<sup>2</sup>, frekuensi natural sebesar 26,77 rad/s. Hasil perhitungan yang ditunjukkan pada Tabel 2 dengan hasil amplitudo sebesar 0,00001238 rad, koefisien damping sebesar 0,01, frekuensi natural sebesar 26,77 rad/s, frekuensi eksitasi sebesar 153,33 rad/s, frekuensi damping sebesar 26,76 rad/s, waktu 0,01 sec, kecepatan getaran 0,0000392 mm/s.

Dari hasil perhitungan *misalignment* dan respon getaran. Dalam hal ini *misalignment* dihitung untuk mendapatkan hasil kecepatan getaran sesuai dengan variasi kemiringan sudut poros yang akan divariasikan. Kemiringan poros divariasikan sesuai batas *clearance* sebesar 0,05 mm. Lalu hasil perhitungan yang ditunjukkan pada Tabel 3 dengan hasil amplitudo sebesar 0,00001238 rad, koefisien damping sebesar 0,01, frekuensi natural sebesar 26,77 rad/s, frekuensi eksitasi sebesar 153,33 rad/s, frekuensi damping sebesar 26,76 rad/s, waktu 0,01 sec, kecepatan getaran 0,0000496 mm/s. Pemodelan *software* MATLAB ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisa respon getaran pada sistem AFC tersebut. Demikian grafik yang dihasilkan oleh *running* MATLAB ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.

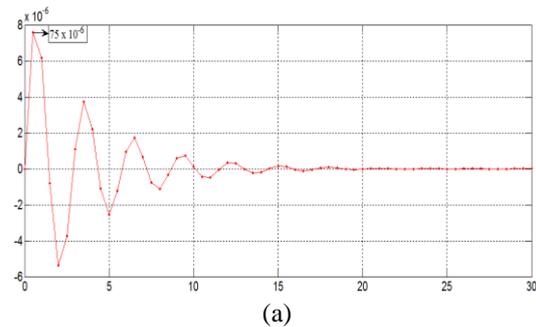


(a)

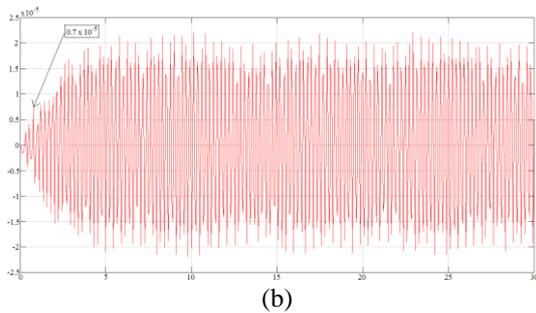


(b)

Gambar 3. Grafik Analisa Respon kecepatan getaran tidak mengalami *misalignmen* poros (a) dan (b)



(a)

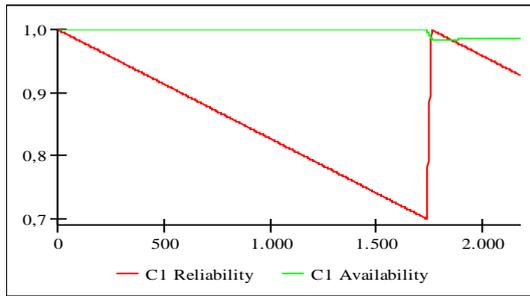


(b)

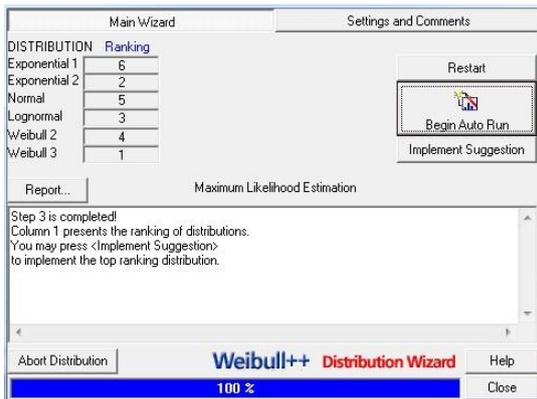
Gambar 4. Grafik Analisa Respon kecepatan getaran tidak mengalami *misalignmen* poros (a) dan (b)

								Velocity
								10-1000Hz-600rpm
								2-1000Hz-120rpm
D								mm/s
C								
B								
A								
FOUNDATION								
Rigid	flexible	rigid	flexible	rigid	flexible	rigid	flexible	
pumps - 15 KW				medium size machine		large machine		
radial_axial_mixed flow				15 KW-P-300KW		300KW-P-50MW		MACHINE TYPE
integrated driver		external driver		motors		motors		
				160mm-H-315mm		315-H		
Group 4		Group 3		Group 2		Group 1		Group

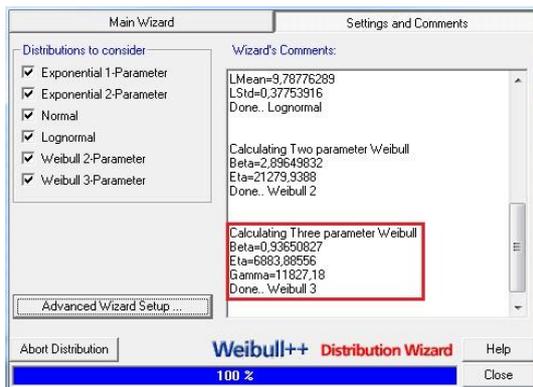
Gambar 5. Standar ISO 10816-3



Gambar 6. Grafik penentuan interval pemeliharaan komponen



(a)



(b)

Gambar 7. Hasil running software weibull 6++ (a) dan (b)

Tabel 4. Jadwal perawatan komponen AFC

Hour	C1 Reliability	C1 Condition	C1 Availability
1.736	0,70004	FALSE	1,00000
1.737	0,69987	FALSE	1,00000
1.738	0,69983	TRUE	1,00000
1.739	0,71133	TRUE	0,99942
1.740	0,72284	TRUE	0,99885
1.741	0,73435	TRUE	0,99828
1.742	0,74586	TRUE	0,99770
1.743	0,75736	TRUE	0,99713
1.744	0,76887	TRUE	0,99656
1.745	0,78038	TRUE	0,99599
1.746	0,79189	TRUE	0,99542
1.747	0,80339	TRUE	0,99485
1.748	0,81490	TRUE	0,99428

1.749	0,82641	TRUE	0,99371
1.750	0,83792	TRUE	0,99314
1.751	0,84942	TRUE	0,99258
1.752	0,86093	TRUE	0,99201
1.753	0,87244	TRUE	0,99144
1.754	0,88395	TRUE	0,99088
1.755	0,89545	TRUE	0,99031
1.756	0,90696	TRUE	0,98975
1.757	0,91847	TRUE	0,98919
1.758	0,92998	TRUE	0,98862
1.759	0,94148	TRUE	0,98806
1.760	0,94148	TRUE	0,98750
1.761	0,95299	TRUE	0,98694
1.762	0,96450	TRUE	0,98638
1.763	0,98751	TRUE	0,98582
1.764	0,99902	TRUE	0,98526
1.765	1,00000	TRUE	0,98470
1.766	0,99983	FALSE	0,98414
1.767	0,99965	FALSE	0,98415
1.768	0,99948	FALSE	0,98416

Pada Gambar 3 hasil grafik (a) tersebut dapat dilihat bahwasanya respon kecepatan getaran tidak mengalami *misalignment* diperoleh hasil sebesar 0,0000065 rad/s dikonversikan menjadi sebesar 0,000040 mm/s dan grafik (b) diperoleh hasil sebesar 0,0000060 rad/s dikonversikan menjadi sebesar 0,0000037 mm/s. Hasil *running* pada grafik (a) menggunakan *script* dan grafik (b) menggunakan *simulink* pada *software* MATLAB. Kemudian pada Gambar 4 hasil grafik (a) tersebut dapat dilihat bahwasanya respon kecepatan getaran mengalami *misalignment* diperoleh hasil sebesar 0,0000075 rad/s dikonversikan menjadi sebesar 0,000047 mm/s dan grafik (b) diperoleh hasil sebesar 0,0000070 rad/s dikonversikan menjadi sebesar 0,000043 mm/s. Hasil *running* pada grafik (a) menggunakan *script* dan grafik (b) menggunakan *simulink* pada *software* MATLAB. Dengan menggunakan periode yang sama selama 30 detik didapat perbedaan atau selisih hasil amplitudo.

Setelah dilakukan perbandingan respon kecepatan dan dengan *misalignment* poros, yang ditunjukkan sebelumnya pada Gambar 3 dan Gambar 4. Sistem AFC masuk dalam *machinery* group 2 dapat dilihat pada Gambar 5 dikarenakan memiliki *power speed motor output* 22 kw. Setelah dilakukan perhitungan respon kecepatan getaran didapatkan nilai yang masih diijinkan standard ISO Severity 10618-3. Masih dikatakan aman sebab nilai respon kecepatan tersebut masuk kedalam area hijau [10].

Tahap *predictive maintenance* dengan cara memprediksi kerusakan komponen AFC dengan menganalisa komponen tersebut sebelum terjadinya kerusakan atau kegagalan operasi. Dengan cara menghitung TTF (*time to failure*), uji distribusi, keandalan, *mean time to failure* (MTTF), *mean time to repair* (MTTR) kemudian ke tahap penentuan interval waktu pemeliharaan

dan perawatan. Sebelum dilakukan perhitungan peluang kegagalan komponen, perlu dilakukan uji distribusi data untuk mengetahui jenis distribusi data kegagalan pada sistem AFC. Pada penelitian ini, pengujian distribusi data dilakukan dengan menggunakan *software weibull 6++*. Distribusi data yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksponensial, weibull, normal, log normal. Pemilihan distribusi data yang sesuai dengan ranking pada *software weibull*. Dari hasil *running software weibull 6++* yang ditunjukkan pada Gambar 7 didapatkan hasil uji distribusi yang sesuai yang sesuai pada komponen AFC, jenis distribusi yang terpilih distribusi weibull 3 sesuai dengan ranking yang didapatkan dan hasil parameter yang didapatkan  $\beta = 0,938$   $\eta = 6883,885$  dan  $\gamma = 11827,18$ . Hasil perhitungan keandalan komponen AFC pada waktu 24 jam maka didapatkan nilai keandalan sebesar 0,995 dan hasil perhitungan MTTF didapatkan hasil 15773,42 jam atau 657 hari.

Tahap berikutnya dilakukan simulasi pemodelan dan *running software Powersim Studio* yang berdasarkan kepada fungsi waktu, akan diperoleh nilai *availability* dan jadwal perawatan dari suatu komponen. Hasil tersebut berdasarkan nilai dari *Reliability Low Limit Maintenance (RLLM)* sesuai yang telah ditetapkan sebelumnya ( $RLLM=0,7$ ). Sebagai contoh jadwal perawatan komponen AFC akan melaksanakan perawatan (*true condition*) pada saat nilai keandalannya 0.69983. Dari hasil *running software Powersim Studio* akan didapatkan jadwal awal perbaikan AFC pada waktu 1738 jam atau 72 hari, sedangkan nilai *availability* waktu tersebut masih bernilai 1. Dalam kurun waktu tersebut nilai keandalan komponen tersebut akan meningkat seiring dengan waktu selesainya perbaikan sedangkan nilai *availability* komponen akan menurun hingga 0,98. Komponen AFC akan kembali dapat dioperasikan (*false condition*) pada waktu 1766 jam. Hasil perhiyungan simulasi dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 6.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa data yang diperoleh, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil perhitungan yang didapatkan yaitu frekuensi natural sebesar 26,77 rad/s, dan frekuensi eksitasi sebesar 153,33 rad/s sehingga dalam sistem tersebut tidak mengalami resonansi.
2. Hasil dari nilai respon yang didapat pada sistem *air fin coolerm* (AFC) berdasarkan perhitungan respon kecepatan getaran sebesar 0,00000625 rad/s dikonversikan menjadi 0,0000392 mm/s.

3. Berdasarkan nilai perbandingan nilai respon kecepatan getaran dengan kemiringan poros 0,05 mm diperoleh hasil sebesar 0,00000716 rad/s dikonversikan menjadi 0,0000496 mm/s. Dan juga dilihat dari hasil grafik perbandingan mengalami perbedaan atau selisih amplitudo dari kemiringan poros, tetapi pada *time interval* tertentu respon getaran mendekati nilai 0. Setelah didapatkan perhitungan respon kecepatan getaran, maka dilakukan kesesuaian dengan standard ISO Severity 10618-3, nilai respon kecepatan tersebut masuk kedalam area hijau atau masih dalam batas aman.
4. Hasil perhitungan keandalan komponen AFC pada waktu 24 jam maka didapatkan nilai keandalan sebesar 0,995 dan hasil prediksi kerusakan pada komponen AFC akan terjadi selang waktu 15773,42 jam atau 657 hari, lalu hasil perhitungan waktu perawatan setelah dilakukan analisa lebih lanjut dengan pendekatan sistem dinamik di prediksi kembali untuk dilakukan pemeliharaan dalam jangka waktu 1738 jam atau 72 hari.

#### 5. PUSTAKA

- [1] Rahayu, T. (2017). Pengaruh *Misalignment* Terhadap Arus dan Getaran Pada Motor Induksi. *seminar nasional sains dan teknologi*, 2-3.
- [2] Maulida, N. (2011). Analisa Sinyal Getaran Pompa Sebagai Predictive Maintenance Pompa Pada Laboraturium Rekayasa Akustik dan Vibrasi Teknik Fisika-ITS.
- [3] Rao, S. S. (2004). Dalam *Mechanical Vibration (5 th edition)* (hal. 77). New York: Prentice Hall.
- [4] Hamrock, B. (2014). *Fundamentals of machine elements ( 3 th edition)*. New York: Taylor & Francis Group. *Applied Mathematics and Informatics* , vol 6, hal 9-16.
- [5] Seto, W. W. (1985). *Getaran Mekanis*. Jakarta: Erlangga
- [6] Spiegel, L. (2003). *Applied Statics and Strenght of Material*. USA: Pearson.
- [7] Rohmah, R. N. (2016). Penjadwalan Mesin Penggiling Semen. *Keandalan*.
- [8] Ebeling, C. (1997). *An Intorduction to Reliability and Maintainability Engineering*. United Kingdom: The British Library Document Supply Center.
- [9] Soesetyo, I., & Yeny, L. (2014). Penjadwalan Predictive Maintenance dan Biaya Perawatan Mesin Pellet di PT Charoen Pokphand Indonesia - Sepanjang. *Predictive Maintenance dan Biaya Perawatan* , 147-154.
- [10] Busch, D. (2002). Dalam *Engineers Guide* (hal. 106-107). Germany: PRUFTECHNIK LTD.