



Analisis Kerusakan Bantalan Gelinding Pada Sistem Variable Speed Menggunakan Spektrum Getaran

Ariyanto

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Sungailiat

Ariyanto2176@gmail.com

Received : 29 September 2021; Received in revised form : 10 Desember 2021; Accepted : 13 Desember 2021

Abstract

The measurement of the overall vibration value on the variable speed transmission system of the knee type milling machine has entered the damaged condition area and further action needs to be taken. More specific measurements are made by observing the frequency of the vibration produced and compared with the theoretical frequency of the component, this method can estimate the component that has decreased ability to damage. Based on the data from the previous history, there was damage to the 3304 bearing. To determine whether the damage to the 3304 bearing was repeated, vibration measurements were made at the observed component frequency. The observed frequencies were Ball Pass Frequency Inner (BPFI), Ball Pass Frequency Outer (BPFO), Fundamental Train Frequency (FTF) and rolling elements/ Ball Spin Frequency (BSF). Observations were made using Vibroport 80 and Report and Examiner. The results of data processing are obtained measuring frequency values that coincide with the calculated frequency values of BSF and BPFI, this indicates damage has occurred in the bearings. Corrective action in the form of replacing damaged bearings with new similar bearings, followed by measuring the overall vibration of the transmission system to see the level of vibration that occurs and referring to the applicable standards

Keyword ; Overall, Bearing 3304, BPFI, BPFO, FTF, BSF

Abstrak

Pengukuran nilai getaran overall pada sistem transmisi variable speed mesin frais type knee sudah memasuki daerah kondisi rusak dan perlu dilakukan tindakan lanjutan. Pengukuran yang lebih spesifik dilakukan dengan mengamati frekuensi getaran yang dihasilkan dan dibandingkan dengan frekuensi teoritis komponen, metode ini dapat memperkirakan komponen yang mengalami penurunan kemampuan hingga mengalami kerusakan. Berdasarkan data riwayat kerusakan mesin sebelumnya terjadi kerusakan pada komponen bantalan 3304 yang menerima beban dari sistem Pully dan Belt. Untuk memastikan apakah kerusakan pada bantalan 3304 terulang kembali dilakukan pengukuran getaran pada frekuensi komponen yang diamati. Frekuensi Pengamatan yang dilakukan adalah pada Ball Pass Frequency Inner (BPFI), Ball Pass Frequency Outer (BPFO), Fundamental Train Frequency (FTF) dan Ball Spin Frequency (BSF). Pengamatan dilakukan dengan mengukur sinyal getaran menggunakan alat Vibroport 80 dan pengolahan data dengan menggunakan aplikasi perangkat lunak Report and Examiner. Hasil pengolahan data diperoleh nilai frekuensi ukur yang berhimpitan dengan nilai frekuensi hitung BSF dan BPFI, hal ini mengindikasikan kerusakan terjadi pada bantalan. Tindakan perbaikan berupa penggantian bantalan yang mengalami kerusakan dengan bantalan baru yang sejenis, kemudian diikuti dengan pengukuran getaran overall sistem transmisi untuk melihat tingkat getaran yang terjadi dan merujuk kepada standard yang berlaku.

Kata kunci ; Overall, bantalan 3304, BPFI, BPFO, FTF, BSF

1. PENDAHULUAN

Pengamatan tingkat getaran dapat dimulai dengan mengamati tingkat getaran *overall* pada suatu mesin. Pengamatan ini akan menampilkan tingkat getaran secara keseluruhan, jika tingkat getaran tersebut sudah memasuki daerah yang dapat menyebabkan kerusakan pada mesin, dilakukan tindakan lanjutan berupa penghentian operasi mesin. Penghentian operasi mesin dilakukan untuk perbaikan dan penggantian suku cadang. Secara umum kerusakan yang disebabkan oleh tingkat getaran yang tinggi pada mesin adalah *unbalance, misalignment, bentshaft*, kerusakan bantalan, kerusakan roda gigi, *bad drive, torque* yang bervariasi, *loosenes, rubbing* dan resonansi [1]. Untuk mengetahui komponen mana yang kemungkinan mengalami kerusakan atau penurunan fungsi dapat dilakukan dengan menggunakan analisis getaran. Penerapan analisis getaran antara lain adalah untuk mengetahui *mechanical looseness* yang terjadi pada *Cooling Water Pump* [2], atau untuk mengetahui kerusakan bantalan pada *condensate Pump* [3].

Salah satu mesin perkakas yang umum digunakan adalah mesin *milling*. Untuk proses pemotongan mesin *milling* dilengkapi dengan sistem transmisi yang berfungsi untuk mengatur putaran spindle mesin. Pengaturan putaran *spindle* mesin dapat dilakukan oleh *variable speed*. Rentang waktu pemakaian mesin yang lama akan mengakibatkan komponen-komponen sistem transmisi mengalami keausan, seperti penggunaan mesin *milling type knee* untuk proses belajar mengajar dan proses pembuatan suku cadang. Selama pemakaian mesin ini pernah mengalami kerusakan sistem transmisi *variable speed* pada tahun 2008. Metoda pengamatan yang dilakukan saat itu adalah dengan cara mendengar sumber bunyi yang berasal dari sistem *variable speed* menggunakan indra pendengaran dengan asumsi jika bunyi pada sistem transmisi menjadi kasar maka kemungkinan terjadi kerusakan. Tindakan yang dilakukan setelah bunyi sistem transmisi menjadi kasar adalah dengan membongkar sistem, melihat dan mengamati komponen-komponen yang dibongkar apakah ada yang rusak secara fisik. Hasil pembongkaran tersebut ditemukan kerusakan pada bantalan dengan nomor seri 3304. Bantalan 3304 merupakan bantalan jenis *Double Row Angular Contact Ball Bearings*.

Setelah penggantian bantalan dilakukan dan penggunaan mesin yang cukup lama, sistem transmisi kembali mengalami peningkatan bunyi sehingga bunyi sistem transmisi menjadi kasar. Untuk menghindari pembongkaran sistem transmisi dan menyiapkan komponen yang akan diganti maka diperlukan penerapan metoda pengamatan yang berbeda, salah satu pengamatan tersebut adalah melihat tingkat getaran *overall* yang diikuti dengan analisis spektrum. Langkah awal pada pengamatan tingkat getaran diperoleh nilai *overall* maksimum sebesar 4,66 mm/s rms pada arah aksial sumbu transmisi [4] dan dikategorikan mesin rusak. Nilai *overall* yang terjadi tidak terjadi secara tiba-tiba memasuki daerah kategori rusak akan tetapi terjadi peningkatan terus menerus sesuai dengan keausan yang terjadi pada komponen mesin. Berdasarkan hasil data kerusakan tahun sebelumnya maka pengamatan lanjutan dilakukan pada komponen *bantalan* 3304.

Pengamatan getaran lanjutan dilakukan dengan mengamati frekuensi yang ditimbulkan oleh *inring/Ball Pass Frequency Inner (BPFI)*, *outring/Ball Pass Frequency Outer (BPFO)*, *cage/Fundamental Train Frequency (FTF)* dan elemen gelinding/*Ball Spin Frequency (BSF)* [5]. Dengan pengamatan frekuensi-frekuensi tersebut akan diketahui apakah kerusakan pada sistem transmisi *variable speed* terjadi pada *bantalan* dengan nomor seri 3304 terulang kembali dan dapat mengetahui kerusakan sedini mungkin dengan cara mengamati peningkatan *peak* frekuensi komponen bantalan 3304.

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Fast Fourier Transform (FFT)

Fast Fourier Transform (FFT) adalah "suatu algoritme untuk menghitung transformasi Fourier diskrit. Penerapan FFT antara lain adalah [6]:

1. Pengolahan sinyal digital.
2. Memecahkan persamaan diferensial parsial
3. Algoritme
4. Mengalikan bilangan bulat besar.

Persamaan Transformasi Fourier Diskrit dapat dilihat pada persamaan 1

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-j \frac{2\pi}{N} kn} \dots \dots \dots (1)$$

2.2. Pengamatan Kerusakan Bantalan Gelinding

Metode yang dilakukan untuk mengetahui kerusakan pada komponen bantalan dilakukan dengan cara mengamati frekuensi yang dihasilkan oleh [5]:

a. Cacat Lokal pada Lintasan Dalam (Inner Race)

Adalah frekuensi yang ditimbulkan oleh adanya cacat lokal yang terjadi pada lintasan dalam. Untuk mengamati frekuensi BPFI dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 2

$$f_{out}(H) = \frac{n}{2} f_r \left(1 + \frac{B}{p} \cos \beta\right) \dots \dots \dots (2)$$

b. Cacat lokal pada lintasan luar

Dapat diamati dengan menggunakan persamaan 3

$$f_{out}(H) = \frac{n}{2} \left(1 - \frac{B}{p} \cos \beta\right) \dots \dots \dots (3)$$

c. Cacat pada sangkar/cage FTF (Fundamental Train Frequency)

Nilai FTF dapat diamati dengan persamaan 4

$$f_{out}(H) = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{B}{p} \cos \beta\right) \dots \dots \dots (4)$$

d. Cacat Lokal pada elemen gelinding

Ball Spin Frequency (BSF). Besarnya dapat dihitung dengan persamaan 5.

$$f_{bal}(H) = f_r \frac{p}{2B} \left[1 - \left(\frac{B}{p} \cos \beta\right)^2\right] \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan

fr = putaran poros

n = jumlah bola

B = Diameter bola

D = Diameter pitch

B = sudut contact

2.3. Mesin Milling Type Knee

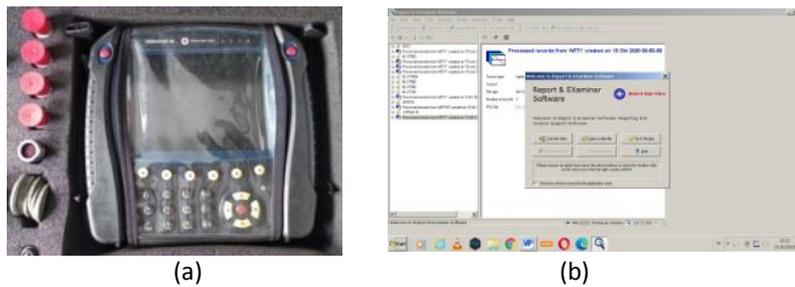
Mesin *milling* yang digunakan merupakan mesin *milling* yang dioperasikan untuk pemotongan benda kerja latihan mahasiswa dan pembuatan suku cadang. Mesin mempunyai dimensi panjang 1894 mm, tinggi 2030 mm. Untuk lebih jelas bentuk mesin *milling* yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Mesin Milling Type Knee

2.4. Pengambilan Spektrum Vibrasi

Pengambilan dan pengumpulan spektrum getaran pada sistem *variable speed* mesin *milling* menggunakan alat ukur *vibroport* 80 setelah terukur dan tersimpan di alat *Vibroport* 80 selanjutnya data getaran tersebut dipindahkan ke komputer untuk dilakukan pengolahan dan analisis. Untuk membantu mengolah dan menganalisis data getaran tersebut digunakan perangkat lunak *Report dan Examiner*. Alat *vibroport* 80 dan perangkat lunak *Report dan Examiner* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. a. Vibroport 80, b. Perangkat Lunak Report dan Examiner

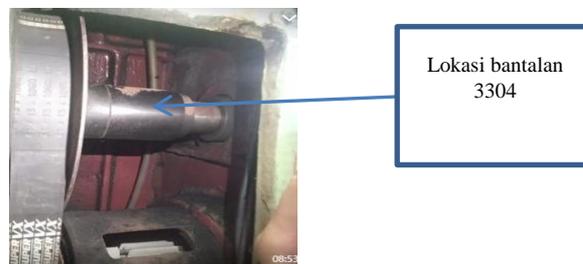
2.5. Bantalan 3304

Bantalan 3304 adalah bantalan *angular contact ball bearing* yang dapat menerima beban kombinasi atau beban dari arah radial dan aksial. Bantalan 3304 mempunyai dimensi diameter dalam 20 mm, diameter luar 52 mm, lebar 22,2 mm. Bantalan 3304 yang digunakan pada sistem *transmisi variable speed* mesin *milling* menggunakan *seal* pada kedua buah sisi dan bantalan ini sudah berisi pelumas grease. Bentuk bantalan 3304 dapat dilihat pada Gambar 3[7].



Gambar 3. Bantalan Gelinding 3304

Penempatan bantalan pada sistem transmisi dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Sistem Transmisi Variable Speed Mesin Milling Type Knee

2.5. Alur Pelaksanaan

Pelaksanaan kegiatan penelitian ini dilakukan dengan beberapa langkah sistematis. Tujuan langkah-langkah tersebut adalah agar kegiatan yang dilakukan dapat dilaksanakan dengan maksimal. Pada penelitian sebelumnya sistem *variable speed* mesin *milling* yang telah diukur nilai getaran *overall* dan dinyatakan rusak kemudian dilakukan pengambilan spektrum getaran.

Spektrum getaran yang telah diperoleh kemudian ditransfer ke komputer. *File* yang telah ditransfer dibuka, diolah dan dianalisis menggunakan perangkat lunak *Report dan Examiner*. Perangkat lunak *Report dan Examiner* akan menghitung dan menampilkan frekuensi yang diambil oleh alat vibroport 80. Dengan memasukkan parameter bantalan yang dianalisis pada perangkat lunak *Report dan Examiner*, maka perangkat lunak tersebut akan memberikan catatan di nilai frekuensi komponen bantalan yang di analisis.

Proses analisis *bantalan* dilakukan dengan memasukkan parameter bantalan 3304 kemudian dilihat apakah ada frekuensi ukur yang berhimpit dengan frekuensi hitung pada perangkat lunak *Report dan Examiner*. Jika ada frekuensi yang berhimpitan antara frekuensi ukuran dan hitung maka dilakukan tindakan perbaikan. Tindakan perbaikan yang dilakukan adalah dengan cara membongkar, membersihkan

unit dan mengganti bantalan yang rusak dengan bantalan baru. Type bantalan yang diganti harus sesuai dengan type bantalan yang rusak.

Untuk memastikan apakah sistem *variable speed* sudah baik dan layak digunakan kembali, dilakukan pengujian akhir berupa pengukuran tingkat getaran *overall*. Jika getaran yang dihasilkan masuk ke daerah baik maka mesin milling *type knee* siap di operasikan kembali.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan pengukuran tingkat getaran *overall* dan diperoleh nilai pada Tabel 1. Tabel 1 menjelaskan terjadi kondisi rusak pada sistem transmisi *variable speed*, hal ini terjadi karena ketika sistem transmisi beroperasi pada putaran 862 nilai getaran *overall* mencapai nilai 4,66 mm/s rms, kondisi ini sudah memasuki kondisi rusak mengacu pada standar getaran ISO 2372. Hasil pengukuran *overall* keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 1 [4].

Tabel 1. Nilai Pengukuran *Overall*

Putaran (Rpm)	Arah pengukuran Aksial (mm/s rms)	Kondisi	Arah pengukuran radial (mm/s rms)	Kondisi
669	2,8	Operasi terbatas	1,32	Baik
763	3,28	Operasi terbatas	1,8	Baik
862	4.66	Rusak	3,47	Operasi terbatas

3.1. Analisis Spektrum FFT

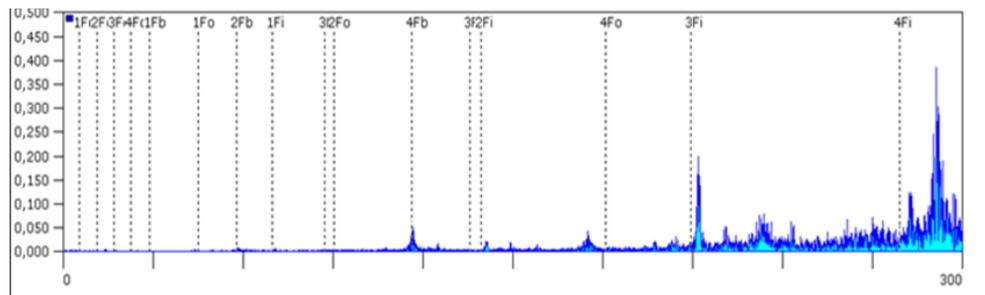
Pengolahan sinyal getaran dilakukan menggunakan perangkat lunak *Report and Examiner*. Perangkat lunak ini dapat menampilkan spektrum getaran dan nilai frekuensi cacat lokal bantalan 3304. frekuensi cacat lokal bantalan 3304 beserta harmonik dapat dilihat pada Tabel 2, untuk tampilan spektrum getaran hasil pengukuran dapat dilihat pada Gambar 6. Pada Gambar 6 arah sumbu x adalah nilai frekuensi dalam satuan Hz dan pada arah sumbu y adalah nilai amplitudo getaran yang diukur dalam satuan percepatan mm/s².

Tabel 2. Nilai Cacat Lokal Bantalan Beserta Nilai Harmonik

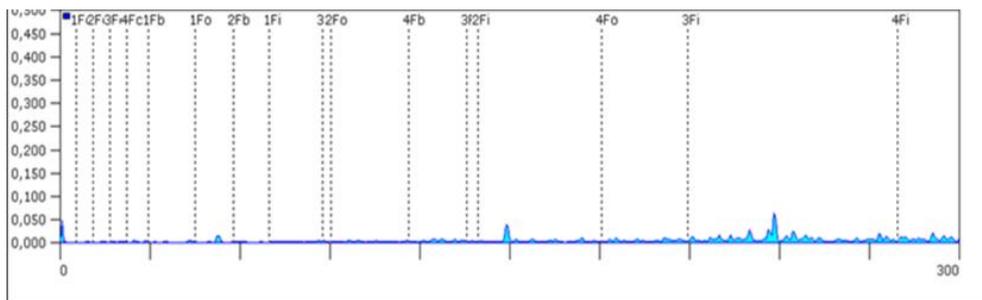
Cacat Lokal	1X	2X	3X	4X
FTF	5,65 Hz	11,30 Hz	16,95 Hz	22,60 Hz
BSF	29,07 Hz	58,13 Hz	87,20 Hz	116,27 Hz
BPFO	45,21 Hz	90,42 Hz	135,63 Hz	180,84 Hz
BPFI	69,79 Hz	139,58 Hz	209,37 Hz	279,16 Hz

Pada Gambar 6 spektrum yang dihasilkan oleh bantalan lama dan mengalami kerusakan, terlihat ada dua *peak* sinyal yang berhimpitan dengan frekuensi cacat lokal yaitu pada $4 \times F_b$ atau $4 \times$ nilai *BSF* dan frekuensi cacat lokal $3 F_i$ atau $3 \times$ nilai *BPFI*. Frekuensi *Peak* dan frekuensi cacat lokal yang berhimpitan mengindikasikan terjadi cacat pada bantalan [8]. Hasil Pengukuran pada sistem *variable speed* mesin *Milling type knee* menghasilkan selisih antara frekuensi cacat lokal teoritis dan frekuensi *peak* hingga 2,84 Hz. Selisih antara frekuensi teoritik dan *peak* bisa mencapai nilai 0,95 Hz [9] dapat juga mencapai nilai 3,7 Hz [10].

Gambar 7 adalah spektrum FFT yang dihasilkan oleh bantalan baru. Pada Gambar 7 tersebut terlihat nilai frekuensi *peak* untuk *BSF (Fb)* dan *BPFI (Fi)* sudah mengalami penurunan, yang diikuti dengan frekuensi frekuensi lainnya.



Gambar 6. Spektrum Vibrasi Frekuensi Bantalan Rusak



Gambar 7. Spektrum Getaran Frekuensi Bantalan Baru

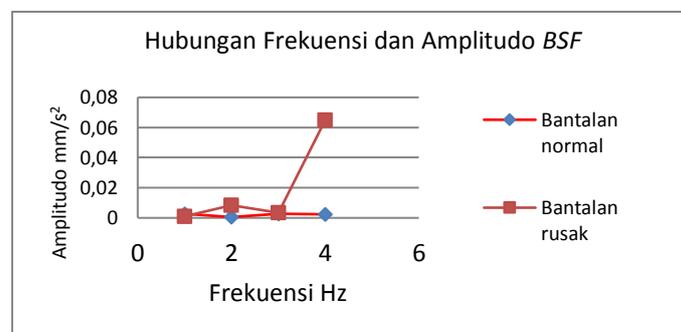
Hasil pengukuran getaran bantalan yang mengalami indikasi kerusakan dapat dilihat pada Tabel 3 dan 4. Nilai *BSF* (*Fb*) dapat dilihat pada Tabel 3, sedangkan untuk nilai *BPFI* (*Fi*) dapat dilihat pada Tabel 4. Gambar 8 dan 9 memperlihatkan grafik hubungan antara frekuensi cacat lokal dan frekuensi *peak* ketika bantalan dalam kondisi rusak dan kondisi sudah dilakukan penggantian bantalan baru.

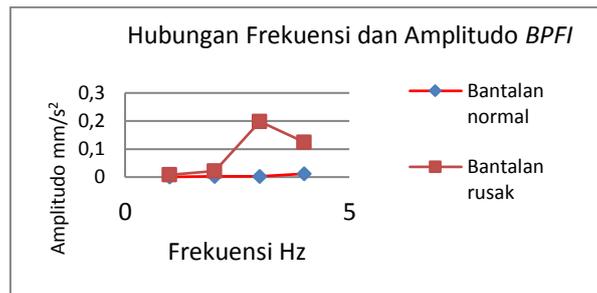
Tabel 3. Nilai BSF (*Fb*) Hasil Perhitungan dan Pengukuran

	1X BSF	2X BSF	3X BSF	4X BSF
Frekuensi BSF	29,07	58,13	87,2	116,27
Frekuensi Peak	29,1	58,1	87,3	116
Amplitudo Peak	0,001	0,0082	0,0036	0,0648

Tabel 4. Nilai BPFI (*Fi*) Hasil Perhitungan dan Pengukuran

	1X BPFI	2X BPFI	3X BPFI	4X BPFI
Frekuensi BPFI	69,79	139,58	209,37	279,16
Frekuensi Peak	70,7	141	212	282
Amplitudo Peak	0,0081	0,021	0,198	0,124

Gambar 8. Grafik Hubungan Antara Frekuensi Cacat Lokal dan Frekuensi *Peak* BSF



Gambar 9. Grafik Hubungan Antara Frekuensi Cacat Lokal dan Frekuensi *Peak BPF*

Peningkatan amplitudo frekuensi *peak BSf* terjadi pada harmonik ke-4 mengindikasikan terjadi keausan dan kerusakan pada elemen gelinding bantalan. Elemen gelinding merupakan bagian dari bantalan yang berputar mengelilingi jalur yang terdapat pada bagian *outer ring* dan *inerr ring* bantalan. Peningkatan amplitudo frekuensi *peak BPF* terjadi pada harmonik ke-3 mengindikasikan terjadi kerusakan pada bagian *inerr ring* bantalan. Kerusakan pada ke dua komponen bantalan mengakibatkan nilai *overall* meningkat. Jika kondisi dibiarkan maka akan terjadi kerusakan pada komponen bantalan lainnya seperti *seal* dan *cage* sehingga bantalan akan menjadi macet serta menghasilkan panas yang tinggi.

4. SIMPULAN

Dari hasil pengukuran dan analisis yang telah dilakukan menunjukkan kerusakan komponen yang terjadi pada sistem *variable speed* mesin *milling type knee* yang digunakan untuk proses belajar mengajar dan pembuatan suku cadang adalah sama, yaitu kerusakan pada bantalan 3304. Kerusakan bantalan 3304 diperoleh dengan cara melihat hasil frekuensi hitung dan frekuensi *peak* yang berhimpitan di frekuensi harmonik *BSF* dan *BPF*. Bantalan yang mengalami kerusakan mempunyai amplitudo frekuensi *peak BSF* dan *BPF* yang besar. Dengan diketahui kerusakan bantalan 3304 pada sistem *variable speed* maka dilakukan tindakan penggantian bantalan 3304 tersebut. Setelah dilakukan penggantian bantalan 3304 nilai-nilai frekuensi *peak* yang berhimpitan tersebut (harmonik *BSF* dan *BPF*) mengalami penurunan, untuk memastikan bahwa sistem transmisi sudah layak digunakan dilakukan pengukuran getaran *overall* dan menunjukkan nilai getaran masuk ke dalam katagori baik berdasarkan *standard* getaran ISO 2372.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. A. Hamid, *Praktikal Vibrasi Mekanik Teori dan Praktik*, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2012.
- [2]. D. S. F. Novrian Carnegie, "ANALISA LEVEL GETARAN COOLING WATER PUMP 1," *Rekayasa Mekanika*, vol. 4, pp. 25-32, 2020.
- [3]. I. W. S. Ganong Zainal Abidin, "Deteksi Kerusakan Bearing Pada Condensate Pump Dengan Analisis Sinyal Vibrasi," *flywheel*, vol. 8, pp. 60-67, 2017.
- [4]. Ariyanto, "Pengukuran Getaran Untuk Menentukan Tingkat Getaran Pada Sistem Transmisi Variable Speed Mesin Milling Dengan Menggunakan Getaran Overall," *Manutech*, vol. 2, pp. 57-63, 2019.
- [5]. *Basic Vibration Course*, Jakarta: PT.Cistech Alpha Indonesia Jakarta, Indonesia, 2008.
- [6]. "Wikipedia," [Online]. Available: https://id.wikipedia.org/wiki/Transformasi_Fourier_cepat. [Diakses juli 2020].
- [7]. *Rolling Bearings*, SKF, 2016, p. 522.
- [8]. T. Wahyudi, Soeharsono dan N. Eddy, " Mendeteksi Kerusakan Bantalan Dengan Menggunakan Sinyal Vibrasi," *Sinergi*, vol. 20, pp. 123-128, 2016.
- [9]. B. P. Kamiel, Mulyani dan Sunard, " Deteksi Cacat Bantalan Bola Pada Pompa Sentrifugal Menggunakan Spektrum Getaran," *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik*, vol. 20, pp. 204-215, 2017.
- [10]. R. Maladzi, T. Prahasto dan A. Widodo, " Analisis Kerusakan Bantalan Gelinding Dengan Variasi Kecepatan Putar Berdasarkan Pola Getaran Menggunakan Metoda Envelope Analysis," *Jurnal Teknik Mesin S-1*, vol. 5, pp. 32-41, 2017.