

Statistical Process Control Vibrasi Bearing untuk Identifikasi Degradasi

RIYANI DESRIAWATI¹, SUTAWANIR DARWIS², NUSAR HAJARISMAN³, SULIADI⁴,
ACHMAD WIDODO⁵

^{1,2,3,4}Prodi Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Bandung,
Jl. Tamansari No.1 Bandung 40116

⁵Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang
email: ¹riyanidess@gmail.com, ²std.darwis@gmail.com, ³nusarhajarisman@yahoo.com,
⁴suliadi@gmail.com, ⁵awidodo2010@gmail.com

ABSTRAK

Statistical Process Control (SPC) diaplikasikan pada proses produksi barang dengan tujuan mendeteksi apakah kualitas produksi berada dalam batas spesifikasi yang telah ditentukan. Dalam studi ini, SPC diaplikasikan pada data vibrasi *bearing* dengan tujuan mendeteksi *defect first observable* pada bearing sebagai bagian prognostik untuk pengambilan keputusan pemeliharaan. Deteksi kerusakan dan prognostik merupakan dua aspek penting dalam pemeliharaan mesin berdasarkan kondisi saat ini. SPC yang digunakan adalah *shewhartl chart* serta *adaptive shewhart chart*. Pada *Shewhart chart*, pemilihan data yang bekerja pada tahap normal harus dilakukan terlebih dahulu. Kemudian *shewhart average level chart* dibangun dengan dua asumsi yaitu data bervariasi disekitar mean serta data berasal dari distribusi normal. Sedangkan pada *adaptive Shewhart l chart* tidak diperlukan pemilihan data yang bekerja pada tahap normal. Hasil eksplorasi menunjukkan bahwa asumsi normalitas tidak terpenuhi, sehingga *Shewhart chart* tidak diimplementasikan. *Adaptive Shewhart average level chart* vibrasi *bearing* diperoleh warning limit bearing 1 sebesar 5,547 dan 3,631, untuk bearing 2 sebesar 5,491 dan 3,635, untuk bearing 3 sebesar 5,762 dan 3,573, untuk bearing 4 sebesar 5,604 dan 33,615. Serta untuk *action limit* untuk bearing 1 sebesar 6,026 dan 3,152, untuk bearing 2 sebesar 5,955 dan 3,171, untuk bearing 3 sebesar 6,309 dan 3,026, untuk bearing 4 sebesar 6,101 dan 3,118. *Defect first observable* untuk bearing 1 interval ke 81, bearing 2 interval ke 146, bearing 3 interval ke 40 dan bearing 4 interval ke 61. *Adaptif Shewart chart* dapat digunakan sebagai alat untuk memprediksi inisiasi transisi dari keadaan normal ke keadaan degenerate.

Kata kunci: defect first observable, vibrasi bearing, adaptive Shewart

ABSTRACT

Statistical Process Control (SPC) is usually applied to the production process of goods, with the aim of detecting the quality of a production item that is within or beyond the specified specifications. In this study, SPC was applied to the bearing vibration signal to detect the first observable defect on a machine that functions as part of a prognostic tool for maintenance decision making. The detection of damage and prognostic are two important aspects in machine maintenance based on current conditions or better known as Condition (data) Based Maintenance (CBM). This paper discusses the shewhart average level chart and adaptive shewhart average level chart to detect the first observable defect. The shewhart chart is built with two assumptions, i.e. that the data must vary randomly around an established mean and follows a normal distribution. However, the adaptive Shewhart chart there is no need for normal assumption. The exploration of our data shows that the assumption of normality is not fulfilled, so that the Shewhart average level chart is not implemented. The adaptive Shewhart chart shows that the warning line for bearing 1 amounted to 5.547 and 3.631, for bearing 2 amounted to 5.491 and 3.635, for bearing 3 amounted to 5.762 and 3, 573, for bearing 4 of 5.604 and 33.615. The action line for bearing 1 is 6.026 and 3.152, for bearing 2 is 5.955 and 3.171, for bearing 3 is 6.309 and 3.026, for bearing 4 is 6.101 and 3.118. The first observable defect was $t = 81$ for bearing 1, $t = 146$ for bearing 2, $t = 40$ for bearing 3 and $t = 61$ for bearing 4. The adaptive Shewart chart can be used as a toll to estimate the initiation of transition state from normal to degenerate.

Keywords: defect first observable, bearing vibration, adaptive Shewart

1. PENDAHULUAN

Tujuan bagan kendali Shewhart adalah untuk mendeteksi kualitas produksi masih dalam spesifikasi yang telah ditentukan atau diluar batas spesifikasi yang telah ditentukan. Kualitas barang produksi diukur dari karakteristik-karakteristik tertentu. Seperti, berat barang, kekuatan, daya tahan dan lain sebagainya. Pendekatan SPC telah berkembang dan digunakan dalam deteksi *defect first observable* pada bearing. Prinsip SPC adalah mengukur penyimpangan sinyal saat ini dari sinyal referensi yang mewakili kondisi normal, untuk melihat apakah sinyal saat ini berada dalam batas kontrol (Jardine et. al, 2005). Deteksi *defect first observable* pada mesin berfungsi sebagai bagian dari alat prognostik untuk pengambilan keputusan pemeliharaan.

Salah satu data yang dapat dianalisis untuk deteksi *defect first observable*, dengan menggunakan metode SPC adalah data sinyal vibrasi. Sinyal vibrasi merupakan besaran fisik terhadap waktu yang variasi nilainya memuat informasi-informasi tertentu kondisi suatu komponen mesin. Bentuk dari sinyal vibrasi itu sendiri, pada umumnya berupa percepatan, kecepatan, bentuk, serta frekuensi (Negara, 2018). Pada data sinyal vibrasi, ketika sebuah sensor memberikan sinyal pada proses pengukuran suatu mesin, maka informasi vibrasi yang terkandung didalamnya akan mengandung noise, yaitu berupa gaya dan efek dari sumber lain, sehingga perlu adanya suatu perubahan dari data asli sinyal vibrasi menjadi data yang mudah dibaca. Proses ini disebut ekstraksi fitur, karena jika tidak dilakukan proses ekstraksi fitur, maka data akan sangat banyak serta proses analisis selanjutnya akan sangat rumit.

Wang dan Zang (2008) mengemukakan bahwa ketika pengukuran sinyal vibrasi dibiarkan berjalan tanpa gangguan sampai terjadinya kegagalan, maka variasi dalam proses mungkin tidak acak setelah periode waktu tertentu, dan variasi tersebut mungkin disebabkan oleh sebab-sebab khusus atau dapat ditentukan. Dengan kata lain, proses tersebut dapat menunjukkan tren. Grafik SPC konvensional, mungkin tidak sesuai dalam situasi ini karena prosesnya menjadi non-stasioner dan kemungkinan besar tidak terdistribusi secara normal. Oleh karena itu, selain *Shewhart Average Level Chart* akan dibahas juga *Adaptive Shewhart Average Level Chart* untuk identifikasi *defect first observable* pada bearing.

Berdasarkan latar belakang diatas, tujuan dari penelitian ini adalah: 1. menentukan ekstraksi fitur yang sesuai untuk data sinyal vibrasi bearing. 2. Mengimplementasikan *shewhart average level chart* pada data sinyal vibrasi bearing. 3. Mengimplementasikan *adaptive shewhart average level chart* pada data sinyal vibrasi bearing. 4. Menentukan defect first observable yang teridentifikasi pada bearing.

2. BAHAN DAN METODE

Bearing adalah suatu elemen mesin yang menumpu poros berbeban, sehingga putaran atau gerakan bolak-baliknya dapat berlangsung secara halus, dan aman (Negara, 2018). Proses pengumpulan data sinyal vibrasi lebih dikenal dengan nama data *acquisition* pada umumnya membutuhkan bantuan beberapa komponen seperti; sensor, *DAQ Device* dan komputer.

Proses ekstraksi fitur akan dilakukan ke dalam *time domain analysis*. Menurut Jardine et. al (2005) *time domain analysis* yaitu analisis langsung berdasarkan bentuk gelombang itu sendiri. Tradisional *time domain analysis* adalah dengan menghitung karakteristik fitur dari sinyal gelombang sebagai deskriptif statistik. Nilai deskriptif statistik tersebut akan dihitung setiap satuan waktunya. Beberapa deskriptif statistik yang akan digunakan adalah root mean square, skewness dan kurtosis. Statistik deskriptif tersebut diranking berdasarkan nilai *monotonicity*. Nilai *monotonicity* berkisar dari 0 sampai dengan 1. Nilai 0 menunjukkan bahwa fitur tersebut tidak sesuai, dan nilai 1 menunjukkan skor yang paling tinggi (Coble, 2010). *Monotonicity* dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$M = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \frac{|\text{number of positive diff}(x_i^j) - \text{number of negative diff}(x_i^j)|}{n-1} \quad (1)$$

Dengan $\text{diff}(x_i^j)$ dirumuskan dalam persamaan (2)

$$\text{diff}(x_i^j) = x_i^j(t) - x_i^j(t-1) \quad (2)$$

Untuk mendeteksi *defect first observable* dengan metode SPC digunakan konsep waktu tunda (Christer dan Waller (1984) dalam Wang dan Zang (2008)), memodelkan proses kegagalan sebagai proses dua tahap. Dimana tahap pertama diawali sejak mulai beroperasi sampai ke titik deteksi *defect first observable*. Tahap kedua (waktu tunda kegagalan) dari titik *defect first observable* terdeteksi sampai kegagalan apabila tidak ada tindakan pemeliharaan. Tahap pertama bisa disebut sebagai tahap kerja normal, dan tahap ke dua sebagai tahap kerja degradasi. Identifikasi *defect first observable* dari waktu tunda adalah penting karena dapat digunakan dalam model prediksi sisa umur untuk pengambilan keputusan pemeliharaan, khususnya pemantuan berbasis getaran (Wang, 2002 (dalam Wang dan Zang, 2008)).

Wetherill dan Brown (1991) dalam Wang & Zhang (2008), menyatakan data yang dianalisis untuk bagan kendali, harus bervariasi secara acak disekitar rata-rata yang ditetapkan. Kemudian untuk mendapatkan nilai batas-batas, pada *shewhart average level chart* untuk diimplementasikan pada data *vibration bearing*, harus melibatkan data yang bekerja dalam tahap normal. Pengimplementasian *shewhart average chart* untuk data sinyal vibrasi *bearing* dikontrol dengan garis *warning limit* dan *action limit*. Garis *warning limit* dan *action limit* dapat diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Warning Limit} = \hat{\mu} + 2\hat{\sigma} \tag{3}$$

$$\text{Action Limit} = \hat{\mu} + 3\hat{\sigma} \tag{4}$$

Wang & Zhang (2008) melakukan pengembangan pada *shewhart average level chart* untuk data sinyal vibrasi *bearing*. Kinerja yang dapat dicapai pada *shewhart average chart* terbatas. Asumsi bahwa proses kontinu dioperasikan dalam kondisi tertentu serta data yang terdistribusi normal. Jika $\hat{\mu}_i$ merupakan rata-rata pada interval ke i untuk semua data sinyal vibrasi *bearing* yang bekerja pada tahap normal, maka $\hat{\mu}_i$ didefinisikan sebagai:

$$\hat{\mu}_i = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{h=1}^n x_{hj} \delta_{hj}}{\sum_{j=1}^m \sum_{h=1}^n \delta_{hj}} \tag{5}$$

dengan:

$$\delta_{hj} = \begin{cases} 0 & \text{jika bearing ke } - j \text{ abnormal pada monitoring waktu ke } - h \\ 1 & \text{lainnya} \end{cases}$$

Jika $\hat{\sigma}_i$ merupakan simpangan baku pada interval ke i untuk semua data sinyal vibrasi *bearing* yang bekerja pada tahap normal, maka $\hat{\sigma}_i$ didefinisikan sebagai:

$$\hat{\sigma}_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m \sum_{h=1}^n (x_{hj} - \hat{\mu}_i)^2 \delta_{hj}}{(\sum_{j=1}^m \sum_{h=1}^n \delta_{hj}) - 1}} \tag{6}$$

Warning limit dan *action limit* diperoleh dengan menggunakan rumus berikut:

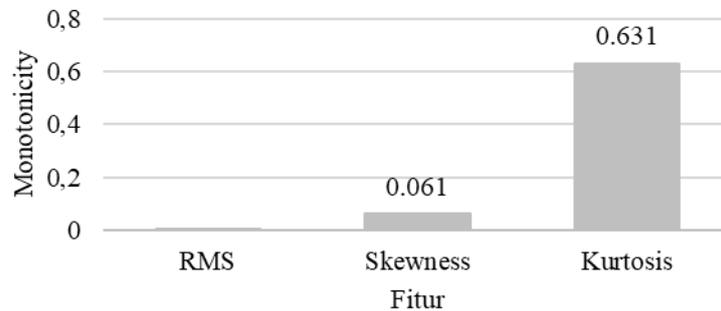
$$\text{Warning Limit} = \hat{\mu}_i + 2\hat{\sigma}_i \tag{7}$$

$$\text{Action Limit} = \hat{\mu}_i + 3\hat{\sigma}_i \tag{8}$$

Perhitungan batas berhenti, apabila ada satu titik yang keluar dari *action limit* atau ada dua titik yang berurutan keluar dari *warning limit*.

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Studi ini menggunakan data set 2 eksperimen vibrasi *bearing* NASA yang dihasilkan oleh NSF I/UCR Center untuk *Intelligent Maintenance Systems* dengan dukungan dari Rexnord Corp di Milwaukee. Setelah dilakukan ekstraksi fitur terhadap RMS, Skewness dan Kurtosis, berikut hasil nilai monotonicity (Gambar 1).



Gambar 1. Grafik Nilai *Monotonicity* fitur RMS, Skewness & Kurtosis

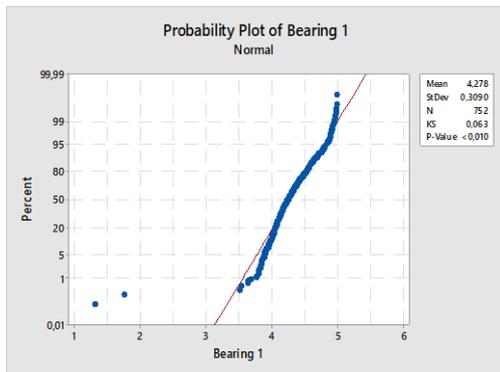
Dilihat dari Gambar 1, fitur yang memiliki nilai tertinggi dan mendekati nilai 1 adalah fitur kurtosis, dengan nilai *monotonicity* sebesar 0,631. Sehingga penelitian ini akan menggunakan *time domain analysis* dengan fitur kurtosis.

Pada *shewhart average chart*, ditentukan terlebih dahulu data yang bekerja pada tahap normal, pada penelitian ini akan menggunakan batas ambang dengan menggunakan kriteria Wang & Zhang (2008) yaitu nilai 5. Kemudian selanjutnya menguji asumsi normalitas;

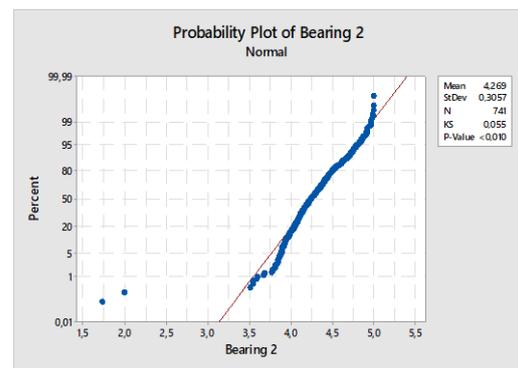
H_0 : Data merupakan sampel dari populasi berdistribusi normal.

H_1 : Tidak demikian.

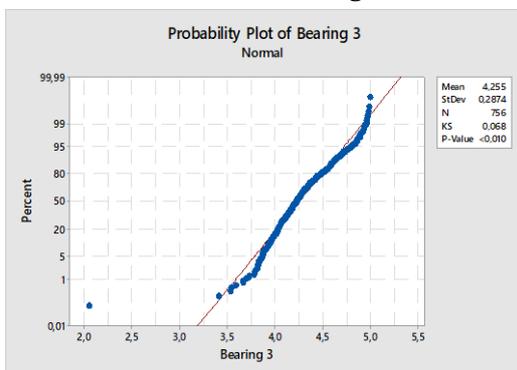
Hasil uji kecocokan data dengan distribusi normal adalah (Gambar 2, 3, 4, 5)



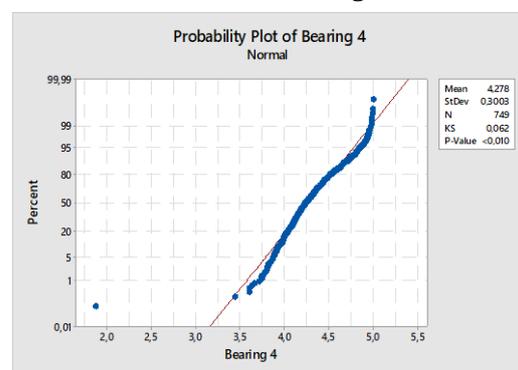
Gambar 2. Bearing 1



Gambar 3. Bearing 2



Gambar 4. Bearing 3



Gambar 5. Bearing 4

Keempat *bearing* memiliki nilai *p-value* <0,010. Dengan menggunakan $\alpha = 0,01$, maka H_0 ditolak, artinya data tidak berasal dari suatu populasi yang berdistribusi normal. Karena asumsi normalitas tidak terpenuhi untuk keempat *bearing*, sehingga *Shewhart average chart*

tidak diimplementasikan. Perhitungan *Adaptive shewhart average level chart* disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Action Limit dan Warning Limit Adaptive Shewhart Average Chart

No.	Bearing 1	Bearing 2	Bearing 3	Bearing 4	Warning Limit	Action Limit	Warning Limit	Action Limit
					(+2σ)	(+3σ)	(-2σ)	(-3σ)
1	5,07316	6,82003	7,28906	5,51213	8,27459	9,32508	4,07260	3,02210
2	4,36564	5,20426	4,8961	4,42491	7,58609	8,65505	3,31025	2,24129
3	5,12782	4,50526	6,4051	6,11327	7,41693	8,38636	3,53920	2,56977
4	5,51800	5,43926	5,1104	6,43783	7,25681	8,12764	3,77349	2,90266
5	4,32512	5,10235	4,7573	4,38132	7,07010	7,93494	3,61075	2,74591
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
38	4,18785	4,40956	4,4659	4,12442	5,76079	6,30893	3,56820	3,02006
39	4,2567	4,50054	4,8677	5,57526	5,76264	6,30995	3,57339	3,02608
40	4,43089	5,05187	6,6416	4,7445	5,75596	6,29922	3,58292	3,03966
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
59	4,61301	4,35629		4,4003	5,61165	6,11044	3,61648	3,11769
60	4,09551	4,65013		4,2641	5,60446	6,10158	3,61596	3,11883
61	4,34458	4,71353		6,7606	5,59988	6,09508	3,61905	3,12384
⋮	⋮	⋮			⋮	⋮	⋮	⋮
79	4,33324	4,04601			5,55122	6,03096	3,63225	3,15251
80	4,0602	4,61423			5,54777	6,02678	3,63172	3,15271
81	6,1288	5,40041			5,55439	6,03513	3,63141	3,15067
⋮	⋮	⋮			⋮	⋮	⋮	⋮
144		4,75666			5,49314	5,95719	3,63695	3,17290
145		4,1213			5,49162	5,9556	3,63568	3,17170
146		6,3971						

Dari Tabel 4.5 terlihat bahwa *bearing 3* adalah *bearing* pertama yang bekerja diluar batas kriteria, dengan nilai *warning limit* sebesar 5,762645 dan 3,573396 serta nilai *action limit* sebesar 6,309957 dan 3,026083. Dengan batas tersebut, *defect first observable bearing 3* teridentifikasi pada interval ke 40 atau pada waktu 400 menit. Artinya, sebelum interval ke 40 merupakan tahap kerja normal dan setelah interval 40 merupakan tahap waktu tunda kegagalan.

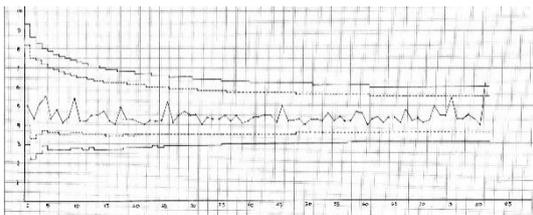
Bearing 4 adalah *bearing* kedua yang bekerja diluar batas kriteria, dengan nilai *warning limit* sebesar 5,604464 dan 3,615963 serta nilai *action limit* sebesar 6,101589 dan 3,118837. Dengan batas yang diperoleh tersebut, *defect first observable bearing 4* teridentifikasi pada interval ke 61 atau pada waktu 610 menit. Artinya, sebelum interval ke 61 merupakan tahap kerja normal dan setelah interval 61 merupakan tahap waktu tunda kegagalan atau proses abnormal.

Bearing 1 adalah *bearing* ketiga yang bekerja diluar batas kriteria, dengan nilai *warning limit* sebesar 5,547776 dan 3,631726 serta nilai *action limit* sebesar 6,026789 dan 3,152713. Dengan batas yang diperoleh tersebut, *defect first observable bearing 1* teridentifikasi pada

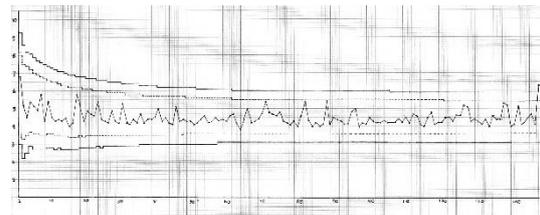
interval ke 81 atau pada waktu 810 menit. Artinya, sebelum interval ke 81 merupakan tahap kerja normal dan setelah interval 81 merupakan tahap waktu tunda kegagalan atau proses abnormal.

Dan *Bearing 2* adalah *bearing* terakhir yang bekerja diluar batas kriteria, dengan nilai *warning limit* sebesar 5,491627 dan 3,635689 serta nilai *action limit* sebesar 5,955612 dan 3,171705. Dengan batas yang diperoleh tersebut, *defect first observable bearing 1* teridentifikasi pada interval ke 81 atau pada waktu 810 menit. Artinya, sebelum interval ke 81 merupakan tahap kerja normal dan setelah interval 81 merupakan tahap waktu tunda kegagalan atau proses abnormal.

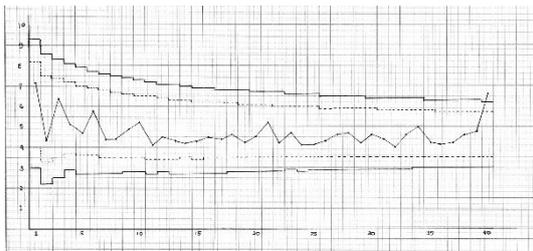
Gambaran secara grafik proses *adaptive shewhart average level chart* Tabel 1 adalah sebagai berikut (Gambar 6,7,8, 9)



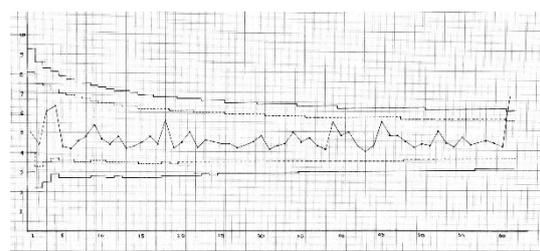
Gambar 6. Bearing 1



Gambar 7. Bearing 2



Gambar 8. Bearing 3



Gambar 9. Bearing 4

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan dalam penelitian ini:

1. Ekstraksi fitur yang sesuai adalah dengan menghitung *monotonicity*. Fitur dengan *monotonicity* mendekati nilai 1 adalah fitur yang paling sesuai. Pada studi ini fitur kurtosis adalah fitur yang paling sesuai untuk data sinyal vibrasi *bearing* dengan *monotonicity* sebesar 0,631.
2. Implementasi *Shewhart chart* pada data sinyal vibrasi *bearing*, dipilih terlebih dahulu data yang berada pada tahap kerja normal. Kemudian *Shewhart average level chart* dibangun dengan dua asumsi yaitu bahwa data bervariasi secara acak disekitar mean yang ditetapkan serta berasal dari distribusi normal. Karena asumsi normalitas tidak terpenuhi, *shewhart chart* tidak diimplementasikan.
3. Implementasi *adaptive Shewhart chart* pada data vibrasi *bearing* tidak memerlukan pemilihan data yang bekerja pada tahap normal. Hasil *adaptive Shewhart chart* pada data sinyal vibrasi *bearing* diperoleh *warning limit* untuk *bearing 1* sebesar 5,547776 dan 3,631726, untuk *bearing 2* sebesar 5,491627 dan 3,635689, untuk *bearing 3* sebesar 5,762645 dan 3,573396, untuk *bearing 4* sebesar 5,604464 dan 33,615963. Serta untuk *action limit* untuk *bearing 1* sebesar 6,026789 dan 3,152713, untuk *bearing 2* sebesar 5,955612 dan 3,171705, untuk *bearing 3* sebesar 6,309957 dan 3,026083, untuk *bearing 4* sebesar 6,101589 dan 3,118837.
4. *Defect first observable* yang teridentifikasi untuk *bearing 3* adalah interval ke 40, untuk *bearing 4* interval ke 61, untuk *bearing 1* interval ke 81 dan untuk *bearing 2* interval ke 146.

DAFTAR PUSTAKA

- Coble, J. B. (2010). Merging Data Sources to Predict Remaining Useful Life-an Automated Method to Identify Prognostic Parameters. Disertasi. Knoxville: Doctor of Philosophy Degree, The University of Tennessee.
- Jardine, A.K.S., Daming, L & Dragan B. (2005). A Review on Machinery Diagnostics and Prognostics Implementing Condition-Based-Maintenance. 20(2006). 1483-1510.
- López, L, Juan F, Jhouben J, Cuesta, R & Hector Fa. (2007). Gaussian Processes in Ball Bearing Prognostics. 84(203). 214-219.
- Nasa Bearing Data Set, (Online). (<http://data-acoustics.com/measurements/bearing-faults/bearing-4/> diakses pada 23 Juli 2019).
- Negara, G A. (2018). Deteksi Cacat Multi Jenis pada Bantalan Tipe Double Row Menggunakan Sinyal Vibrasi. Skripsi. Yogyakarta: Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Wan, W & Wenjuan Z. Early defect: Application of Statistical Process Control Methods. 14(3). 225-236.