

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Proses Ekstraksi Fitur

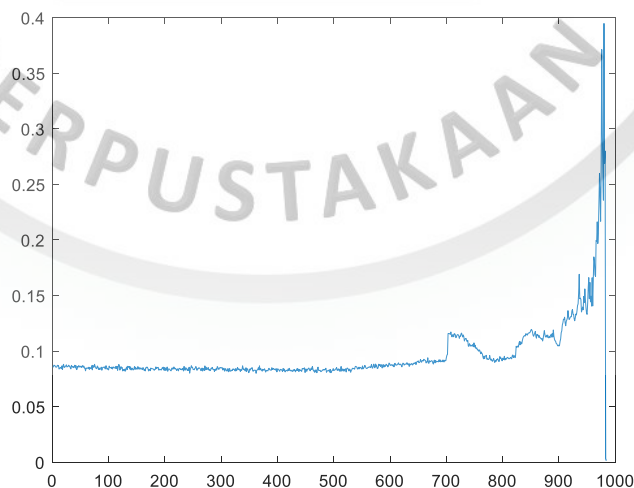
4.1.1 Fitur RMS

Dengan bantuan *software* Matlab R2017b, berikut hasil ekstraksi fitur pada data set 2 ke dalam nilai RMS, dengan pemrograman terlampir pada lampiran 2. Hasilnya disajikan pada tabel 4.1 sebagai berikut.

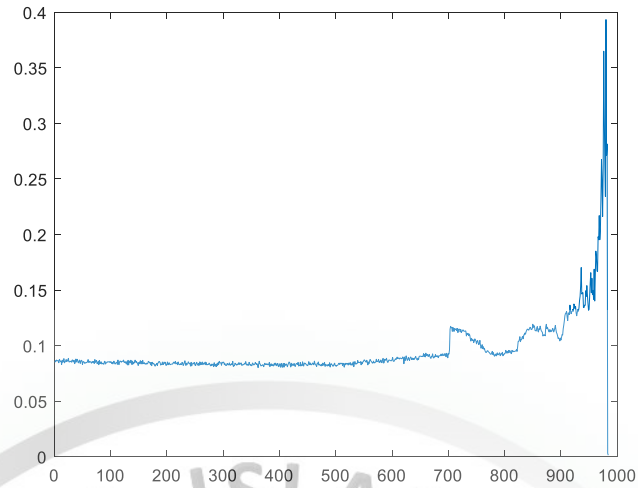
Tabel 4.1 Nilai RMS Data Set 2

	<i>Bearing 1</i>	<i>Bearing 2</i>	<i>Bearing 3</i>	<i>Bearing 4</i>
1	0,085298	0,084981	0,084102	0,084256
2	0,086073	0,08642	0,086052	0,085643
3	0,087299	0,086021	0,084995	0,087011
4	0,086777	0,087066	0,086819	0,087537
5	0,086714	0,086268	0,088115	0,085511
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
984	0,001338	0,001425	0,001624	0,001836

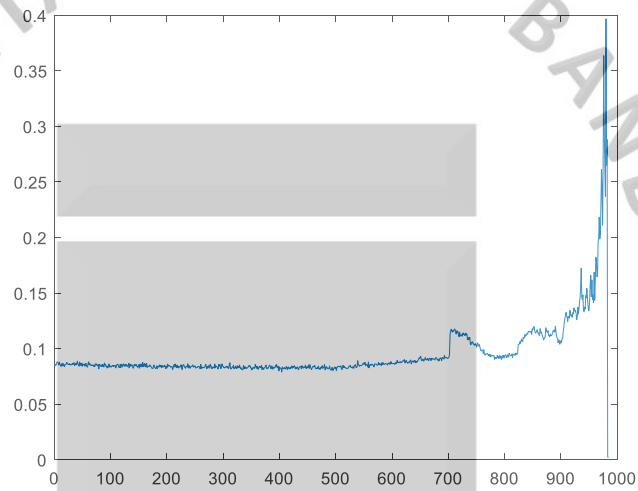
Dalam bentuk grafik, nilai RMS pada data set 2 dari keempat *bearing* adalah sebagai berikut:



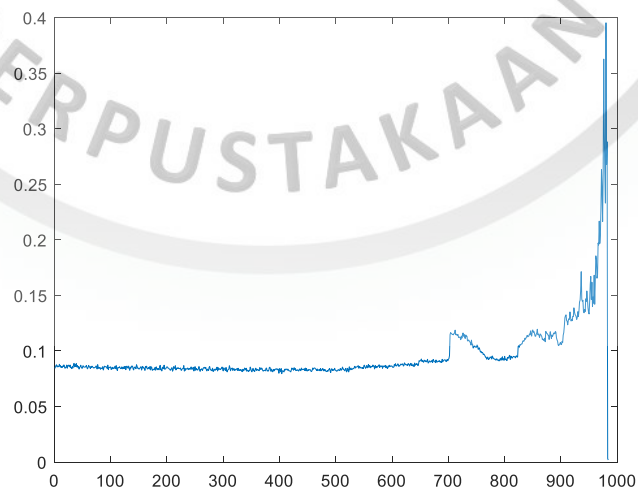
Gambar 4.1 Plot RMS *Bearing 1* Data Set 2



Gambar 4.2 Plot RMS *Bearing 2* Data Set 2



Gambar 4.3 Plot RMS *Bearing 3* Data Set 2



Gambar 4.4 Plot RMS *Bearing 4* Data Set 2

Nilai RMS dari keempat bearing menunjukkan pola yang sama, yaitu bergerak secara konstan disekitaran nilai 0,08 sebelum interval waktu ke-700, dan menggambarkan pola tren setelah interval waktu ke-700. *Bearing 1* memiliki nilai minimum 0,001338 dan nilai maksimum 0,394807. Untuk *bearing 2* memiliki nilai minimum 0,001425 dan nilai maksimum 0,393441. Untuk *bearing 3* memiliki nilai minimum 0,001624 dan nilai maksimum 0,3968. Serta untuk *bearing 4* memiliki nilai minimum 0,001836 dan nilai maksimum 0,3955304.

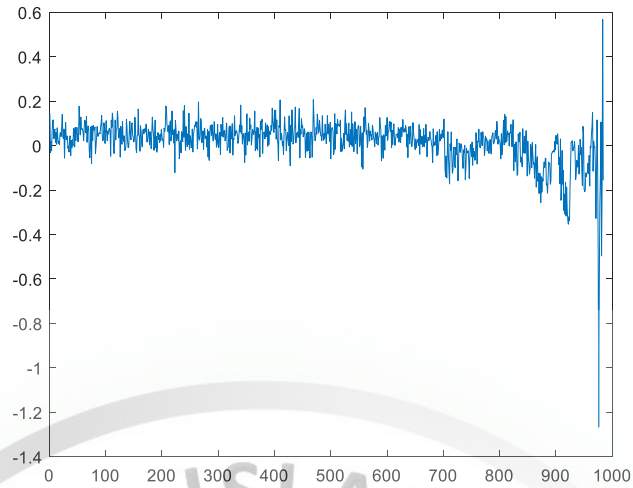
4.1.2 Fitur Skewness

Dengan bantuan *software* Matlab R2017b, berikut hasil ekstraksi fitur pada data set 2 ke dalam nilai skewness, dengan pemograman terlampir pada lampiran 3. Hasilnya disajikan pada tabel 4.2 sebagai berikut.

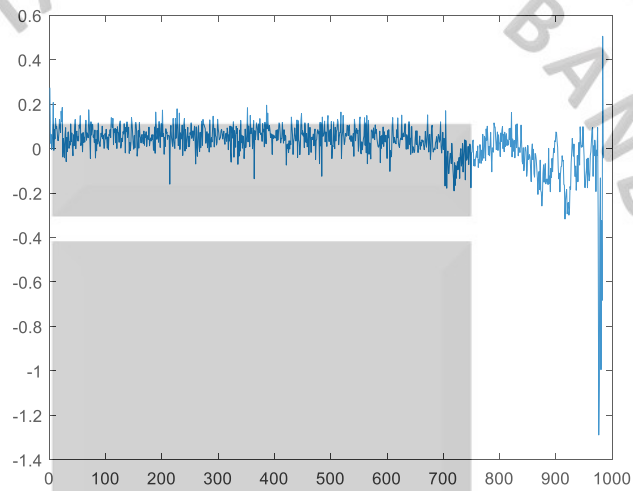
Tabel 4.2 Nilai Skewness Data Set 2

	<i>Bearing 1</i>	<i>Bearing 2</i>	<i>Bearing 3</i>	<i>Bearing 4</i>
1	0,145509	0,273989	0,101259	0,00344
2	-0,03109	0,024476	0,075747	0,033638
3	0,019864	0,064333	0,232834	0,019191
4	-0,02338	-0,00473	0,070692	0,182894
5	0,064974	0,008705	0,051664	0,060616
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
984	-0,15608	-0,04299	-0,40634	-0,68902

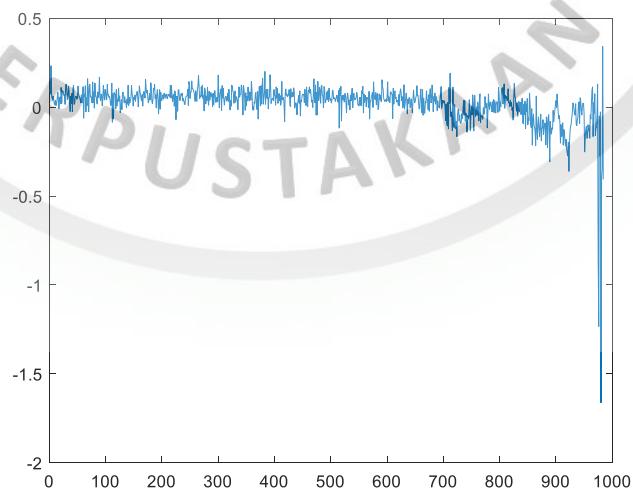
Dalam bentuk grafik, nilai skewness pada data set 2 dari keempat *bearing* adalah sebagai berikut:



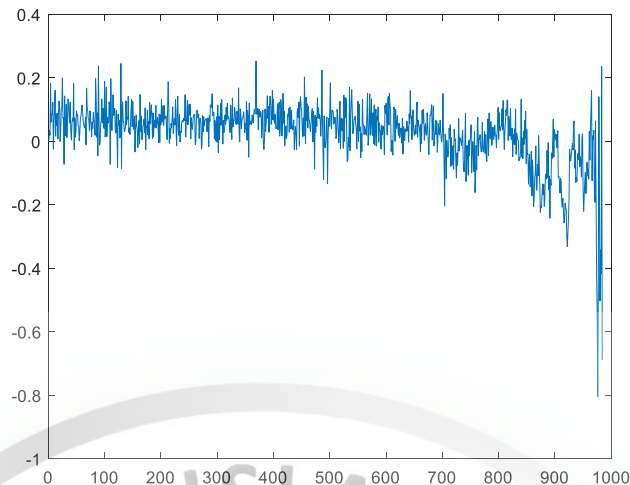
Gambar 4.5 Plot Skewness *Bearing 1* Data Set 2



Gambar 4.6 Plot Skewness *Bearing 2* Data Set 2



Gambar 4.7 Plot Skewness *Bearing 3* Data Set 2



Gambar 4.8 Plot Skewness *Bearing 4* Data Set 2

Nilai skewness dari keempat bearing menunjukkan pola yang sama, yaitu bergerak secara konstan disekitaran nilai 0 sebelum interval waktu ke-700, dan menggambarkan pola tren setelah interval waktu ke-700. *Bearing 1* memiliki nilai minimum -1,26643 dan nilai maksimum 0,568257. Untuk *bearing 2* memiliki nilai minimum -1,28857 dan nilai maksimum 0,505544. Untuk *bearing 3* memiliki nilai minimum -0,166301 dan nilai maksimum 0,340933. Serta untuk *bearing 4* memiliki nilai minimum -0,80467 dan nilai maksimum 0,25235.

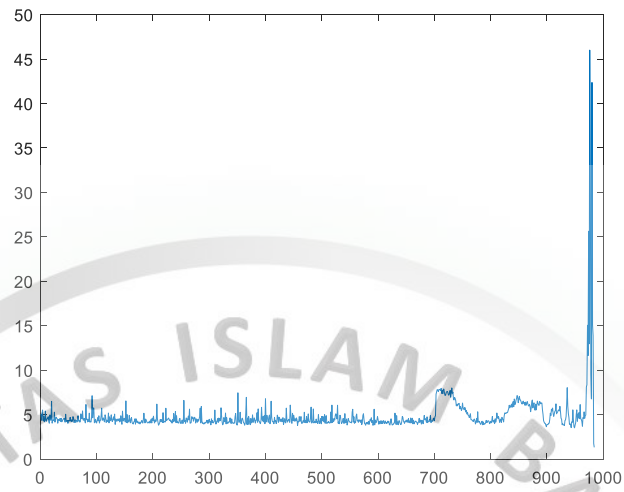
4.1.3 Fitur Kurtosis

Dengan bantuan *software* Matlab R2017b, berikut hasil ekstraksi fitur pada data set 2 ke dalam nilai kurtosis, dengan pemograman terlampir pada lampiran 4. Hasilnya disajikan pada tabel 4.3 sebagai berikut.

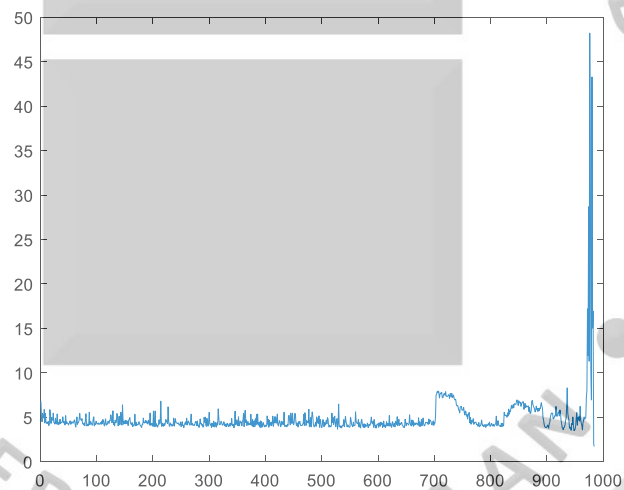
Tabel 4.3 Nilai Kurtosis Data Set 2

	<i>Bearing 1</i>	<i>Bearing 2</i>	<i>Bearing 3</i>	<i>Bearing 4</i>
1	5,073162	6,820033	7,28906	5,512132
2	4,36564	5,204265	4,896162	4,424919
3	5,127821	4,505267	6,405115	6,113277
4	5,518006	5,439263	5,110492	6,437833
5	4,325124	5,102351	4,757387	4,381328
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
984	1,313285	1,721711	3,53456	3,901511

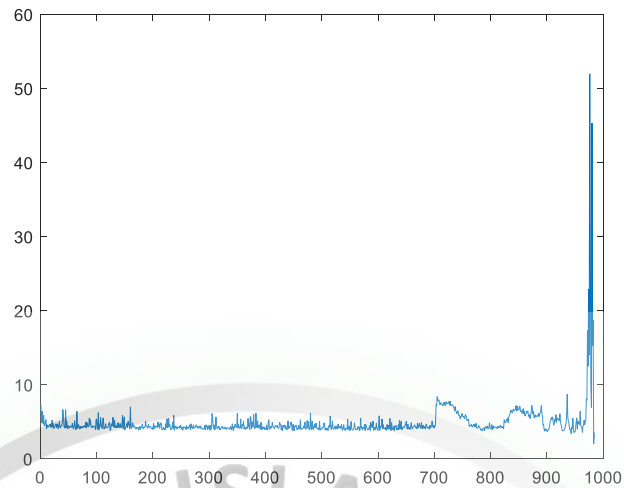
Dalam bentuk grafik, nilai kurtosis pada data set 2 dari keempat *bearing* adalah sebagai berikut:



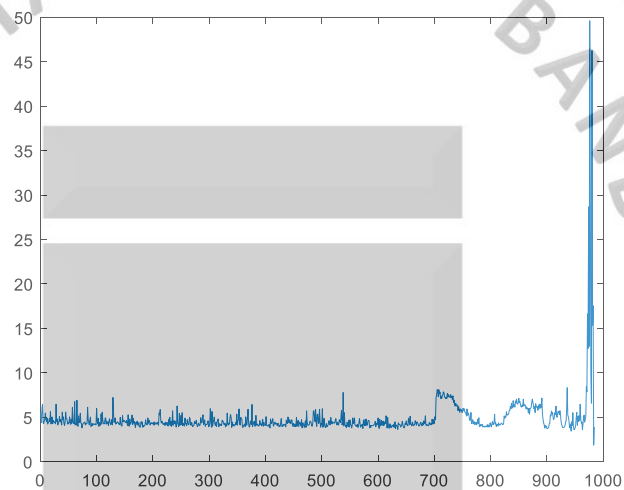
Gambar 4.9 Plot Kurtosis *Bearing 1* Data Set 2



Gambar 4.10 Plot Kurtosis *Bearing 2* Data Set 2



Gambar 4.11 Plot Kurtosis *Bearing* 3 Data Set 2

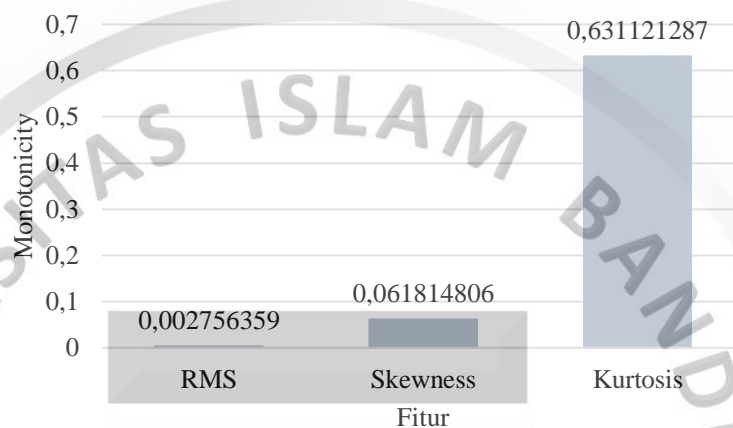


Gambar 4.12 Plot Kurtosis *Bearing* 4 Data Set 2

Nilai kurtosis dari keempat bearing menunjukkan pola yang sama, yaitu bergerak secara konstan disekitaran nilai 3 sampai dengan 5 sebelum interval waktu ke-700, dan menggambarkan pola tren setelah interval waktu ke-700. *Bearing* 1 memiliki nilai minimum 1,313285 dan nilai maksimum 46,0023. Untuk *bearing* 2 memiliki nilai minimum 1,721711 dan nilai maksimum 48,22503. Untuk *bearing* 3 memiliki nilai minimum 2,045513 dan nilai maksimum 51,9416. Serta untuk *bearing* 4 memiliki nilai minimum 1,8717 dan nilai maksimum 49,59843.

4.2 Proses Pemilihan Fitur

Untuk memilih nilai ekstraksi fitur yang sesuai, maka akan dinilai atau diranking berdasarkan nilai *Monotonicity*. Proses $diff(x_i^j)$ dan perhitungannya untuk fitur RMS, skewness dan kurtosis masing-masing terdapat pada lampiran 5, 6 dan 7. Sehingga diperoleh nilai *monotonocity* sebagai berikut:



Gambar 4.13 Grafik Nilai *Monotonicity* Fitur RMS, Skewness & Kurtosis

Dilihat dari grafik diatas, fitur yang memiliki nilai tertinggi dan mendekati nilai 1 adalah fitur kurtosis, yaitu dengan nilai *monotonicity* sebesar 0,631121287. Sehingga pada skripsi ini akan menggunakan *time domain analysis* dengan fitur kurtosis.

4.3 Uji Normalitas

Karena uji normalitas dilakukan terhadap data yang bekerja pada tahap normal, maka berikut disajikan pada pada tabel 4.4 data yang bekerja pada tahap normal sesuai dengan kriteria Wang dan Zhang (2008), yaitu batas ambang dengan nilai 5.

Tabel 4.4 Nilai Kurtosis Data Set 2 Tahap Kerja Normal

No.	Bearing 1	Bearing 2	Bearing 3	Bearing 4
1	4,36564	4,505267	4,896162	4,424919
2	4,325124	4,912596	4,757387	4,381328
3	4,820742	4,372173	4,487857	4,29681
4	4,181872	4,53745	4,495898	4,635424
5	4,407792	4,322111	4,967325	4,813661
6	4,269445	4,440064	4,102068	4,735877

Tabel 4.4 Nilai Kurtosis Data Set 2 Tahap Kerja Normal (Lanjutan)

No.	Bearing 1	Bearing 2	Bearing 3	Bearing 4
7	4,248692	4,32161	4,562063	4,499547
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
741	4,53576	1,721711	3,666895	4,347583
742	4,519142		4,155813	4,451852
743	4,457143		3,990106	3,601059
744	4,219824		4,786881	4,233436
745	3,687565		4,808794	4,944635
746	4,66071		4,5895	4,453887
747	4,555249		4,692296	4,765289
748	4,574269		4,224658	1,8717
749	4,873721		4,187607	3,901511
750	4,95391		3,586113	
751	1,755118		4,396396	
752	1,313285		4,604695	
753			4,624683	
754			4,893137	
755			2,045513	
756			3,53456	

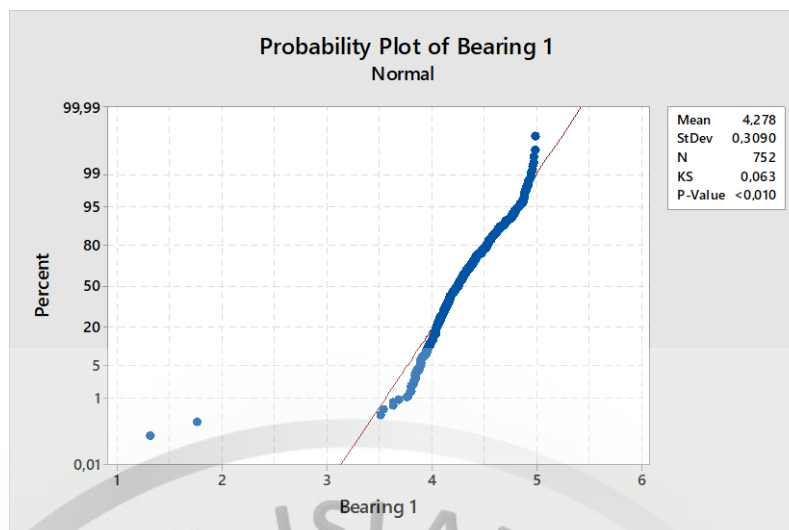
Kemudian dari tabel 4.4 tersebut akan diuji kecocokan distribusi dengan distribusi normal untuk setiap *bearing*-nya. Dimana uji kecocokan menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov (KS), dengan rumusan hipotesis sebagai berikut:

H_0 : Data berasal dari suatu populasi yang berdistribusi normal.

H_1 : Data tidak berasal dari suatu populasi yang berdistribusi normal.

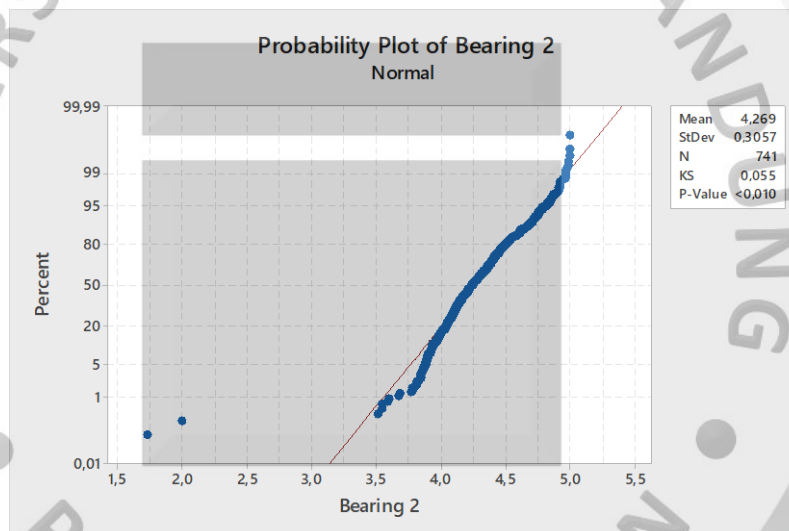
4.3.1 Uji Normalitas *Bearing 1* Data Set 2

Dengan menggunakan bantuan *software* Minitab 17, diperoleh nilai KS sebesar 0,063 dan *p-value* <0,010 seperti terlihat pada gambar 4.14. Karena nilai *p-value* menunjukkan angka yang tidak pasti, maka perbandingannya adalah dengan menggunakan nilai tabel KS. Dengan menggunakan α sebesar 0,05 diperoleh nilai tabel KS sebesar 0,04959. Karena nilai KS > nilai tabel, maka H_0 ditolak artinya data tidak berasal dari suatu populasi yang berdistribusi normal.



Gambar 4.14 Uji Normalitas *Bearing 1* Data Set 2

4.3.2 Uji Normalitas *Bearing 2* Data Set 2



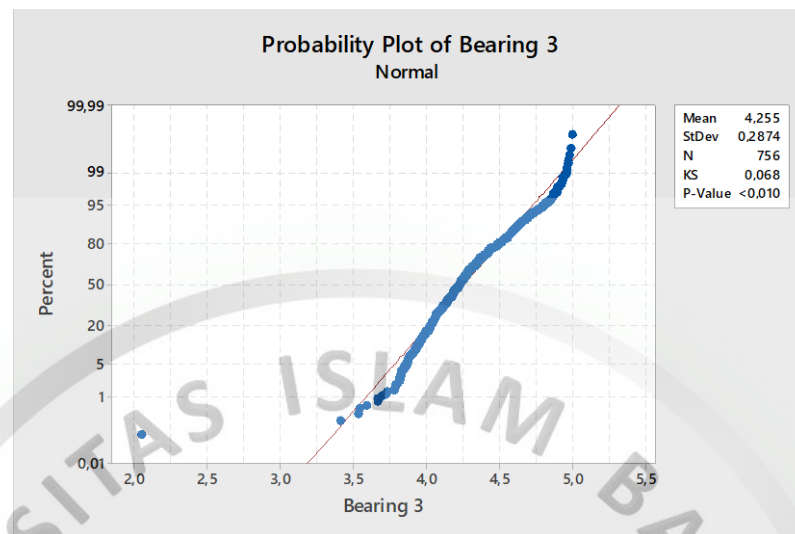
Gambar 4.15 Uji Normalitas *Bearing 2* Data Set 2

Diperoleh nilai KS sebesar 0,055 dan p -value $<0,010$ seperti terlihat pada gambar 4.15. Dengan menggunakan α sebesar 0,05 diperoleh nilai tabel KS sebesar 0,04996. Karena nilai $KS >$ nilai tabel, maka H_0 ditolak artinya data tidak berasal dari suatu populasi yang berdistribusi normal.

4.3.3 Uji Normalitas *Bearing 3* Data Set 2

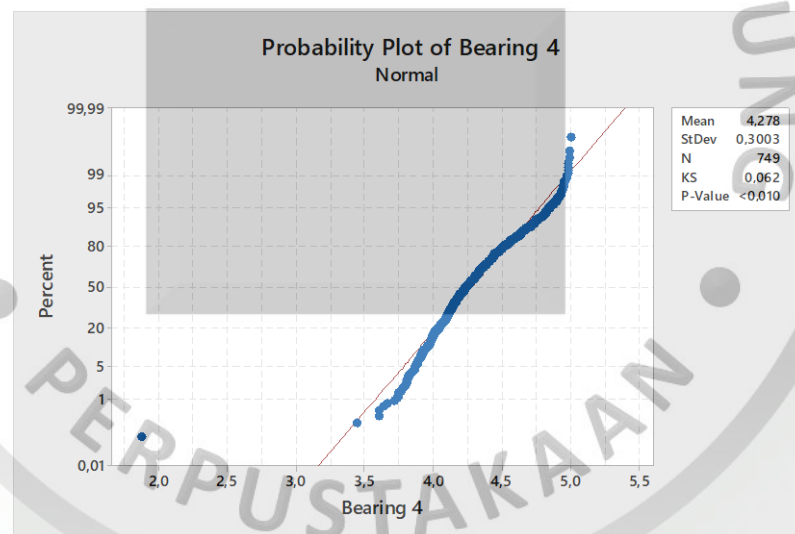
Diperoleh nilai KS sebesar 0,068 dan p -value $<0,010$ seperti terlihat pada gambar 4.16. Dengan menggunakan α sebesar 0,05 diperoleh nilai tabel KS sebesar 0,04946.

Karena nilai $KS >$ nilai tabel, maka H_0 ditolak artinya data tidak berasal dari suatu populasi yang berdistribusi normal.



Gambar 4.16 Uji Normalitas *Bearing 3* Data Set 2

4.3.4 Uji Normalitas *Bearing 4* Data Set 2



Gambar 4.17 Uji Normalitas *Bearing 4* Data Set 2

Diperoleh nilai KS sebesar 0,062 dan $p\text{-value} < 0,010$ seperti terlihat pada gambar 4.17. Dengan menggunakan α sebesar 0,05 diperoleh nilai tabel KS sebesar 0,04969. Karena nilai $KS >$ nilai tabel, maka H_0 ditolak artinya data tidak berasal dari suatu populasi yang berdistribusi normal.

Karena asumsi normalitas tidak terpenuhi untuk semua *bearing*, sehingga untuk *Shewhart average level chart* tidak akan diimplementasikan.

4.4 Adaptive Shewhart Average Level Chart

Karena tidak perlu adanya asumsi yang harus terpenuhi pada *adaptive Shewhart average level chart*, maka perhitungan batas bisa langsung dihitung. Perhitungan disajikan pada tabel 4.5 sebagai berikut, untuk perhitungan secara lengkap terdapat pada lampiran 8.



Tabel 4.5 Perhitungan Nilai *Action Limit* dan *Warning Limit* Adaptive Shewhart Average Level Chart

No.	Bearing 1	Bearing 2	Bearing 3	Bearing 4	Rata-Rata	Simpangan Baku	Warning Limit	Action Limit	Warning Limit	Action Limit
							(+2 σ)	(+3 σ)	(-2 σ)	(-3 σ)
1	5,073162	6,820033	7,28906	5,512132	6,1735968	1,050496881	8,274591	9,325087	4,072603	3,022106
2	4,36564	5,204265	4,896162	4,424919	5,4481716	1,068959701	7,586091	8,655051	3,310252	2,241292
3	5,127821	4,505267	6,405115	6,113277	5,4780711	0,969432603	7,416936	8,386369	3,539206	2,569773
4	5,518006	5,439263	5,110492	6,437833	5,5151529	0,870829205	7,256811	8,12764	3,773494	2,902665
5	4,325124	5,102351	4,757387	4,381328	5,3404318	0,864837829	7,070107	7,934945	3,610756	2,745918
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
38	4,187856	4,40956	4,465951	4,124424	4,6644989	0,548146194	5,760791	6,308938	3,568207	3,02006
39	4,2567	4,500542	4,867787	5,575266	4,6680204	0,547312323	5,762645	6,309957	3,573396	3,026083
40	4,430898	5,051877	6,64167	4,744556	4,6694425	0,543259289	5,755961	6,29922	3,582924	3,039665
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
59	4,613019	4,356297		4,400342	4,6140667	0,498792349	5,611651	6,110444	3,616482	3,11769
60	4,095511	4,650132		4,264178	4,6102131	0,497125238	5,604464	6,101589	3,615963	3,118837
61	4,344584	4,713536		6,760636	4,6094686	0,495206592	5,599882	6,095088	3,619055	3,123849
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
79	4,333242	4,046013			4,5917392	0,479741969	5,551223	6,030965	3,632255	3,152513
80	4,060226	4,614234			4,5897508	0,479012655	5,547776	6,026789	3,631726	3,152713
81	6,128815	5,400417			4,5929052	0,480743113	5,554391	6,035135	3,631419	3,150676
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
144		4,756668			4,5650494	0,46404913	5,493148	5,957197	3,636951	3,172902
145		4,12133			4,5636585	0,463984504	5,491627	5,955612	3,635689	3,171705
146		6,397181								

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 yang diperoleh 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 atau proses abnormal.

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* 2 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 untuk proses *adaptive Shewhart average level chart* pada tabel 4.5 untuk *bearing* 3, 4, 1 dan 2 masing-masing terdapat pada lampiran 9, 10, 11 dan 12.

Defect first observable pada keempat *bearing* ini bermanfaat untuk mengetahui seberapa lama waktu tunda kegagalan, yaitu waktu dari masa *defect first observable* yang teridentifikasi sampai masa kegagalan yang sesungguhnya. Sehingga apabila sebuah komponen mesin misalnya *bearing* sudah teridentifikasi mengalami *defect first observable* maka bisa mempersiapkan lebih dini untuk perbaikan atau penggantian komponen tersebut.

