

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas hasil penelitian deteksi kerusakan elemen bola bantalan bola pada kincir angin *horizontal axis* berbasis sinyal getaran. Analisis menggunakan analisis parameter statistik dengan klasifikasi *Principal Component Analysis* (PCA). Analisis dilakukan pada grafik yang dihasilkan dari parameter statistik domain waktu dan hasil klasifikasi PCA.

4.1 Pemilihan Fitur Parameter Statistik

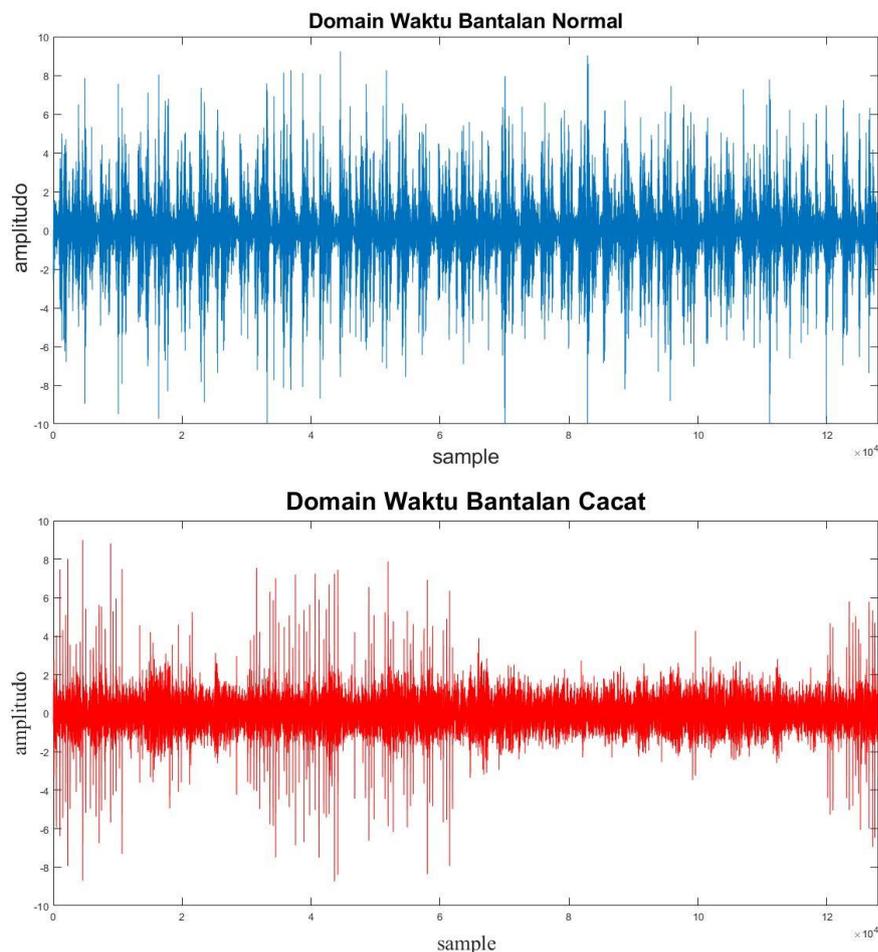
Tabel 4.1 menunjukkan beberapa parameter statistik yang banyak digunakan dan cocok untuk metode *PCA* seperti ditunjukkan pada tabel 2.1. Penggunaan parameter statistik tersebut didapat dari rujukan penelitian yang telah ada dalam meneliti kerusakan pada bantalan. Data getaran yang telah disimpan pada komputer diolah menjadi parameter statistik domain waktu menggunakan program MATLAB versi R2017a.

Tabel 4. 1 Parameter statistik yang digunakan dalam pengolahan data

Domain waktu	Perintah MATLAB
<i>Root Mean Square (RMS)</i>	rms(x)
<i>Standard Deviation</i>	std(x)
<i>Kurtosis</i>	kurtosis(x)
<i>Peak Value</i>	$((\max(\text{abs}(x))-\min(\text{abs}(x)))/2)$
<i>Variance</i>	var(x)
<i>Crest Factor</i>	peak2rms(x)
<i>Skewness</i>	skewness(x)

4.2 Data Hasil Penelitian

Deteksi cacat bantalan dengan menggunakan analisis domain waktu merupakan salah satu metode dimana data getaran berupa deret waktu diploting berdasarkan besarnya amplitudo gelombang pada sumbu y terhadap banyaknya sampel pengambilan data pada sumbu x . Data mentah dari sinyal getaran ditunjukkan pada gambar 4.1 masih sangat sulit membedakan sinyal kondisi bantalan normal dan kondisi sinyal bantalan rusak dikarenakan cacat elemen bola pada bantalan mempunyai amplitudo yang kecil.



Gambar 4. 1 Sinyal getaran kondisi normal dan kondisi rusak

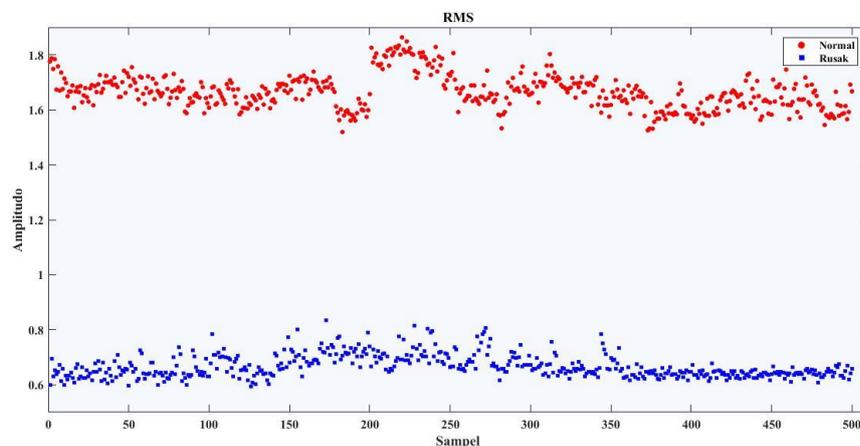
Dalam mendukung analisis yang dilakukan dalam domain waktu parameter statistik sering kali digunakan untuk memperjelas perubahan yang terjadi akibat kerusakan dari sebuah bantalan.

4.3 Analisis Parameter Statistik Domain Waktu

Untuk memahami naiknya level getaran yang dipengaruhi oleh variasi kondisi suatu bantalan secara lebih mendalam maka diterapkan parameter statistik pada sub bab berikut. Tujuh parameter statistik yang diterapkan dianalisa dan dibandingkan pada setiap kondisinya, yaitu bantalan kondisi normal dan bantalan kondisi rusak. Akan tetapi dari tujuh parameter statistik yang diterapkan tidak semuanya dapat memberikan informasi dengan jelas pada masing – masing kondisi bantalan. Berikut pembahasan dari setiap parameter statistik yang diterapkan.

a. *Root Mean Square (RMS)*

Gambar 4.2 merupakan perbandingan dari kondisi bantalan normal dan kondisi bantalan rusak elemen bola yang menghasilkan informasi bahwa grafik statistik pada bantalan normal dan rusak sudah terlihat, sehingga parameter ini sudah cukup sensitif digunakan untuk membedakan kondisi bantalan normal dan kondisi bantalan rusak.

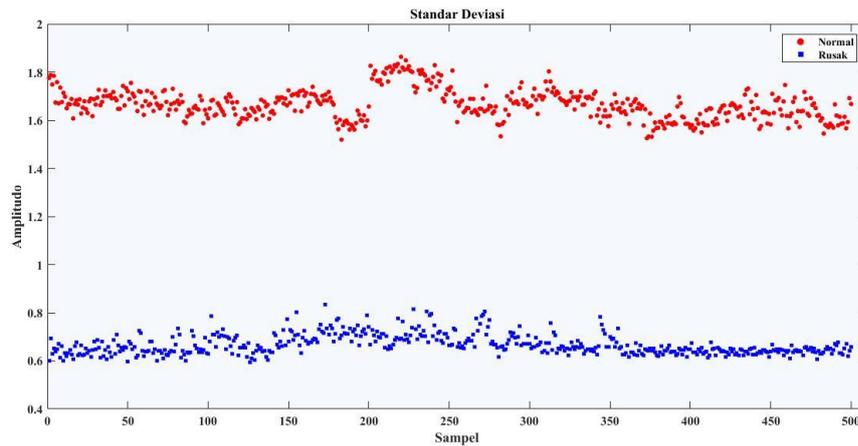


Gambar 4. 2 Grafik perbandingan kondisi bantalan normal dan kondisi bantalan rusak dengan RMS

b. *Standard Deviation*

Hasil dari *Standar Deviation* terlihat mirip dengan *RMS* seperti pada gambar 4.3. Hal ini di sebabkan nilai rata-rata getaran yang dihasilkan dari sinyal

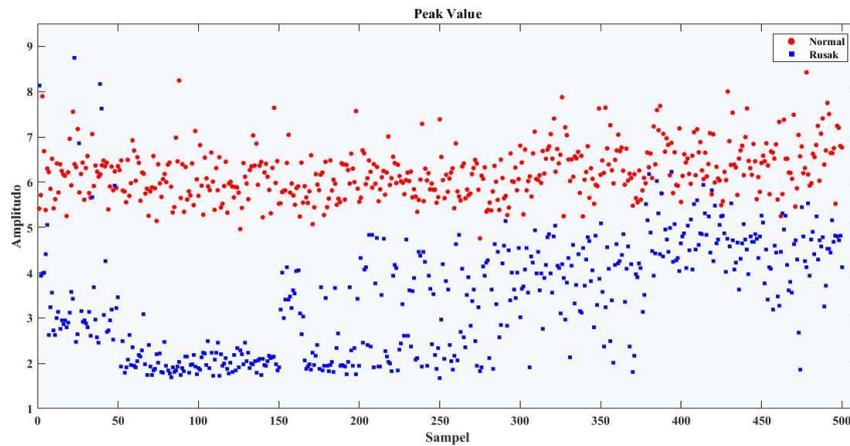
sangat kecil dan tidak terlalu berpengaruh terhadap parameter tersebut, sehingga *RMS* dan *Standard Deviation* memiliki sensitivitas untuk membedakan rusak pada bantalan bola.



Gambar 4. 3 Grafik perbandingan kondisi bantalan normal dan kondisi bantalan rusak dengan dengan *Standard Deviation*

c. *Peak Value*

Peak value atau nilai puncak mencerminkan energi dari data sinyal. Pada parameter ini, seperti yang terlihat pada gambar 4.4

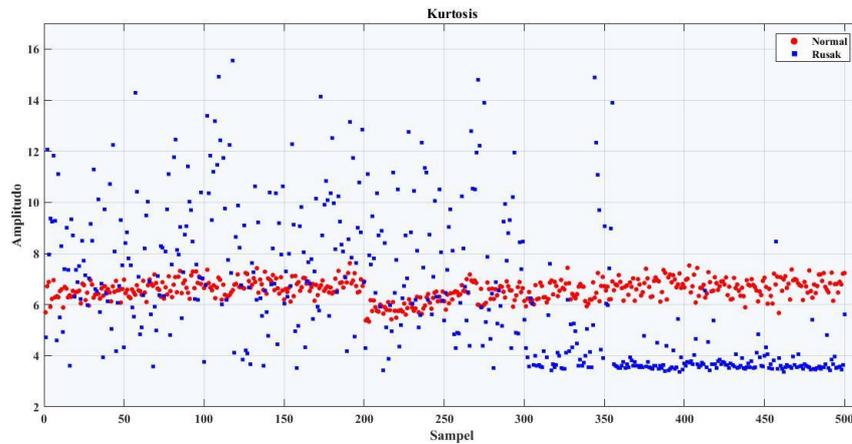


Gambar 4. 4 Grafik perbedaan kondisi bantalan normal dan kondisi bantalan rusak dengan *peak value*

Gambar 4.4 distribusi nilai puncak yang dihasilkan memiliki nilai yang tidak seragam atau tidak memiliki batas yang jelas pada setiap kondisi bantalan. Ketidakseragaman nilai puncak ini mengidentifikasi bahwa amplitudo yang dihasilkan pada domain waktu dari setiap pengujian kondisi bantalan memiliki nilai puncak yang berbeda – beda. Sehingga deteksi cacat bantalan dengan parameter ini memiliki sensitivitas yang rendah.

d. *Kurtosis*

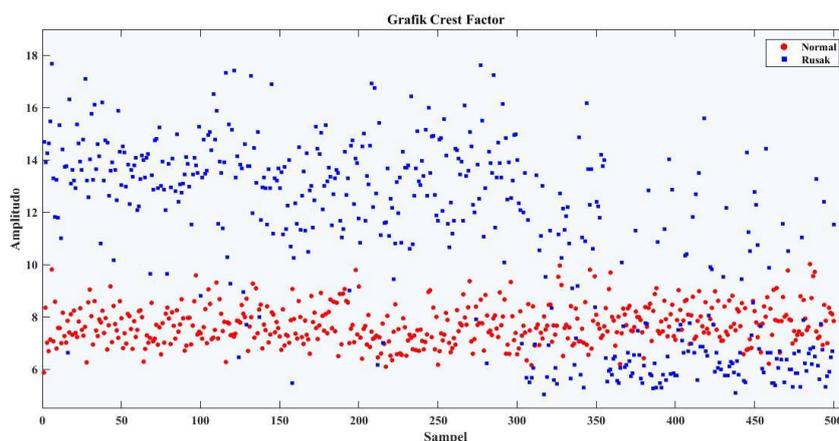
Analisa perbandingan pada *kurtosis* dapat dilihat pada gambar 4.5 yaitu nilai *kurtosis* yang muncul tidak terlihat perbedaan antara kondisi bantalan normal dan kondisi bantalan rusak. Pada kondisi rusak nilai *kurtosis* yang muncul cenderung acak atau tidak seragam jika dibandingkan dengan kondisi bantalan normal, hal ini disebabkan karena kenaikan dan penurunan nilai *kurtosis* secara signifikan. Oleh karena itu, parameter ini tidak dapat membedakan kondisi bantalan cacat dan kondisi bantalan normal.



Gambar 4. 5 Grafik perbedaan kondisi bantalan normal dan kondisi bantalan rusak dengan *kurtosis*

e. *Crest Factor*

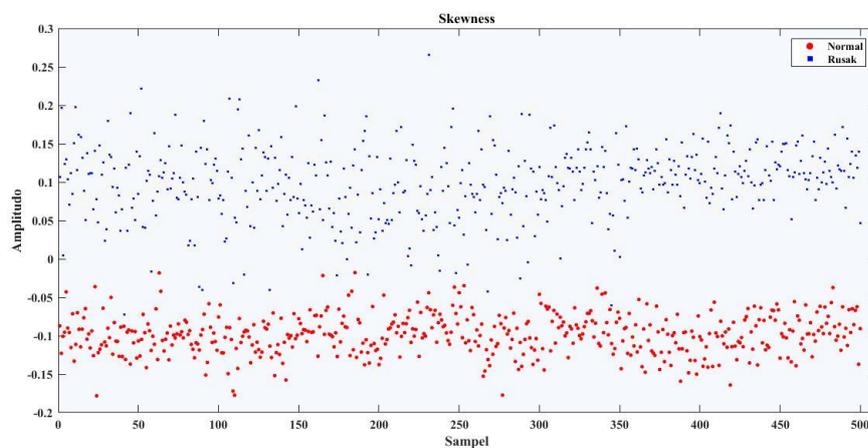
Gambar 4.6 merupakan distribusi dari nilai *crest factor* dari 500 potong data. Terlihat bahwa nilai yang dihasilkan pada 500 potong data memiliki pola acak pada setiap kondisi bantalannya serta tidak memiliki batas yang jelas untuk mendiagnosisnya. Oleh karena itu, parameter ini memiliki sensitivitas yang rendah dan masih sulit untuk membedakan kondisi bantalan normal dan kondisi bantalan rusak.



Gambar 4. 6 Grafik perbedaan kondisi bantalan normal dan kondisi bantalan rusak dengan *crest factor*

f. *Skawness*

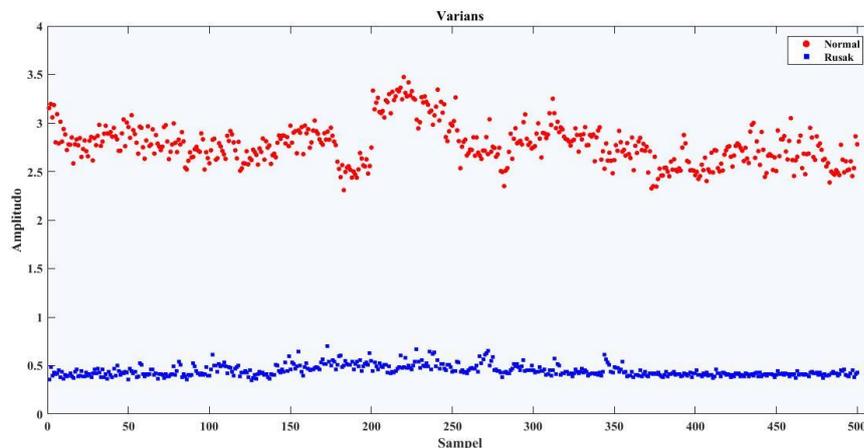
Selanjutnya analisa dengan parameter statistik *skewness*. Nilai *skewness* yang dihasilkan dari 500 potong memperlihatkan nilai yang tidak seragam seperti terlihat pada gambar 4.7. Akan tetapi ketidak seragaman nilai *skewness* tersebut masih terlihat jelas untuk membedakan masing – masing kondisi bantalan, meskipun masih terdapat nilai *skewness* yang *overlap* sehingga saling tercampur antara kondisi bantalan rusak dan kondisi bantalan normal.



Gambar 4. 7 Grafik perbedaan kondisi bantalan normal dan kondisi bantalan rusak dengan *skewness*

g. *Variance*

Analisa menggunakan parameter statistik *variance* pada gambar 4.8 menunjukkan bahwa *variance* dapat membedakan kondisi bantalan normal dan kondisi bantalan rusak, dengan amplitudo pada kondisi bantalan normal semakin menurun. Namun, *variance* mempunyai sensitivitas untuk membedakan kerusakan pada rusak elemen bola bantalan bola.



Gambar 4. 8 Grafik perbedaan kondisi bantalan normal dan kondisi bantalan rusak dengan *variance*

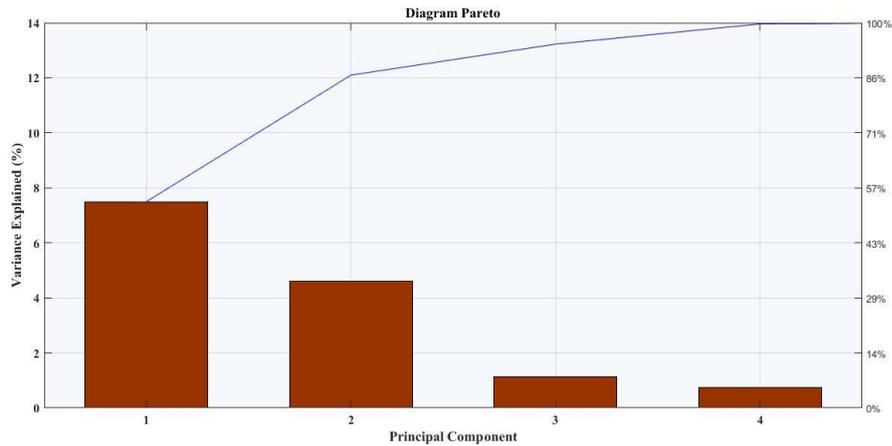
4.4 Analisa Principal Component Analysis (PCA) Domain Waktu

Data yang telah di ekstraksi dengan parameter statistik merepresentasikan nilai dan hal yang berbeda terhadap nilai sinyal getaran yang dihasilkan. Setiap parameter statistik mempunyai informasi yang dibutuhkan untuk klasifikasi, akan tetapi banyak kesamaan informasi dari setiap parameter statistiknya. Apabila input klasifikasi mempunyai banyak data dengan kandungan informasi yang sama, maka hasil klasifikasi akan mengalami penumpukan. Oleh karena itu perlu digunakan metode PCA untuk mentranspos data dari data asalnya, yaitu data yang dihasilkan dari ekstraksi parameter statistik .

Hasil ekstraksi 7 parameter statistik dengan total data yang digunakan adalah 1000 data. 500 data digunakan untuk *testing* dan 500 lainnya digunakan untuk *training*. Data *training* dinormalisasi dan dilatih dari tiap kondisi dengan menggunakan *PCA* dan akan menghasilkan data *loading* matriks. Setelah itu, *loading* matriks dikalikan dengan data *testing* pada setiap kondisi sehingga menghasilkan *score* yang digunakan untuk mengklasifikasikan kondisi bantalan normal dan kondisi bantalan rusak. Persentase dari hasil PCA dapat dilihat pada gambar 4.9. Persentase tersebut didapat dengan menggunakan persamaan *Cumulative Percent Variance (CPV)* yang ditunjukkan pada persamaan 4.1.

$$CPV = \frac{\sum_{j=1}^r \lambda_j}{\sum_{j=1}^n \lambda_j} \times 100\% \dots\dots\dots(4.1)$$

Dimana λ_j mewakili nilai eigen ke- j dari matriks kovarian C_x dan r terbesar pertama nilai eigen dipertahankan dalam model PCA.



Gambar 4. 9 Diagram pareto dari 4 principal component

Hasil perhitungan menghasilkan diagram yang ditunjukkan pada gambar 4.9 dimana PC1 menyimpan data dengan nilai varians sebesar 53.557%, PC2 menyimpan data dengan nilai varians sebesar 32.864%, PC3 menyimpan data varians sebesar 8.042%, dan PC4 menyimpan data varians sebesar 5.252%. Jumlah varians data dari 3 PC sebesar 94.463%, sudah mampu memberikan informasi yang cukup untuk mewakili semua data.

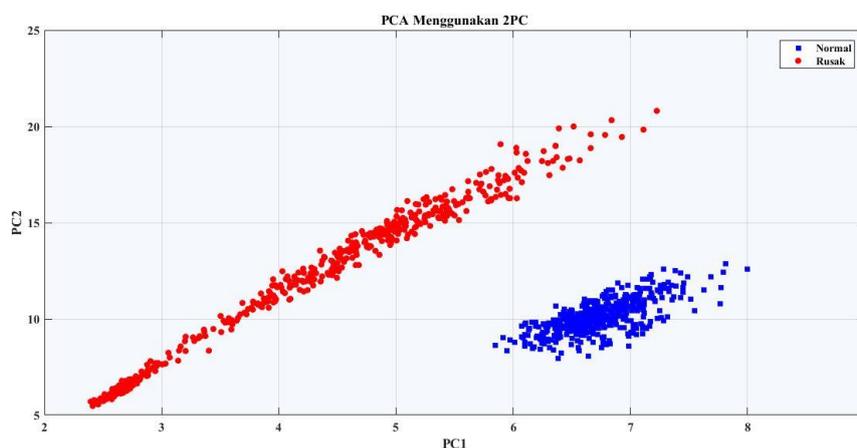
Tabel 4. 2 Kontribusi parameter statistik pada masing-masing principal component

Parameter	PC1	PC2	PC3	PC4
<i>RMS</i>	0,5358	-0,1397	-0,1377	-0,0027
<i>SD</i>	0,5358	-0,1397	-0,1377	-0,0027
<i>Peak Value</i>	0.3160	0,4993	0,2644	-0,2436
<i>Kurtosis</i>	0,0726	0,4851	-0,2325	0,8398
<i>Variance</i>	0,5360	-0,1394	-0,1352	-0,0046

Parameter	PC1	PC2	PC3	PC4
<i>Crest Factor</i>	0,1263	0,5913	0,3357	-0,2586
<i>Skewness</i>	0,1320	-0,3272	0,8408	0,4104

Hasil dari diagram pareto dapat dilihat kontribusi 7 parameter statistik pada masing-masing PC. Pada tabel 4.2 , tiap parameter mempunyai karakteristik yang berbeda untuk memberikan tingkat kontribusi. Hasil data yang dominan pada PC1 adalah parameter statistik RMS, standard deviation, dan variance. Nilai data yang dominan di PC2 adalah *peak value*, *kurtosis*, dan *crest factor*. Pada PC3 adalah *skewness*, dan pada PC4 adalah *kurtosis*. Nilai data pada tabel tersebut merupakan nilai data tertinggi yang menyampaikan informasi terbesar dari setiap dataset pada masing – masing parameter statistik setelah di standarisasi dan dilakukan PCA.

PC 1 dan PC 2 dari diagram pareto menyimpan informasi data varians paling besar yaitu 86,421 % dari 100 %. Hasil dari plot dengan menggunakan 2PC dapat dilihat pada gambar 4.10

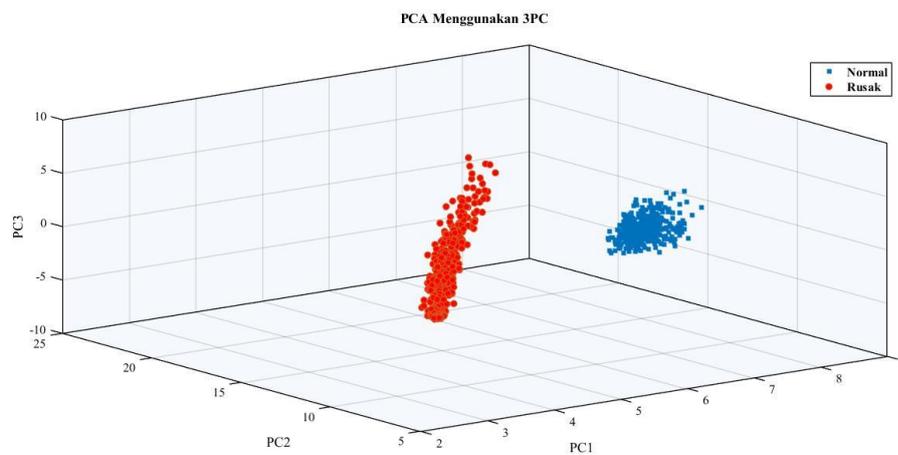


Gambar 4. 10 Grafik hasil klasifikasi PCA dengan 2 PC

Gambar 4.11 merupakan hasil klasifikasi dengan menggunakan 2 PC, dari penggunaan 2 PC tersebut sudah mampu untuk membedakan antara kondisi bantalan normal dan kondisi bantalan rusak, akan tetapi pada kondisi rusak terlihat

data masih belum berkelompok. Oleh karena itu perlu ditambahkan lagi satu PC untuk memberikan informasi lebih pada varians data.

Agar informasi yang didapat pada klasifikasi *PCA* semakin akurat, maka perlu dilakukan penambahan satu PC lagi, yaitu PC ke 3 yang mempunyai nilai sebesar 8,042% varians data sehingga informasi pada data menjadi 94,463%. Gambar 4.12 Menunjukkan adanya perbedaan dari gambar 4.11, terlihat data pada kedua kondisi sudah berkelompok dan tidak ada data yang saling *overlap*. Hasilnya terlihat jelas bahwa *PCA* berhasil mengklasifikasi antara kondisi bantalan normal dan kondisi bantalan rusak. Hal ini disebabkan oleh penambahan PC 3 yang berhasil menambah jumlah varians data. Hasil ini sesuai dengan dasar teori, semakin besar jumlah varians yang disimpan di dalam PC, maka akan memberikan akurasi identifikasi yang lebih tinggi.



Gambar 4. 11 Grafik klasifikasi PCA dengan 3 PC