

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pemilihan Parameter Statistik

Untuk menentukan dan memilih parameter statistik domain waktu yang efektif pada pompa sentrifugal, akan dipaparkan berdasarkan beberapa tinjauan penelitian sebelumnya. Setiap penelitian memiliki latar belakang teoritis yang berbeda dan memberikan hasil yang berbeda. Pada Tabel 4.1 ditunjukkan beberapa penelitian yang menggunakan parameter statistik domain waktu pada pompa sentrifugal.

Tabel 4. 1 Penggunaan parameter statistik domain waktu dan *PCA*

<b>Tahun</b>	<b>Author (s)</b>	<b>Objek</b>	<b>Metode</b>	<b>Parameter Statistik</b>
2003	Li dkk	Gearbox	<i>PCA</i>	<i>SD, kurtosis, peak, mean, RMS, crest factor, impulse factor, clearance factor</i>
2009	Al-Hasymi	Pompa Sentrifugal	Analisis Statistik	<i>PDF, RMS, SD</i>
2011	Pirra dkk	Bearing	<i>PCA</i>	<i>Mean, RMS, peak value</i>
2015	Luo, dkk.	Pompa Sentrifugal	Analisis Statistik	<i>RMS, Crest Factor, Peak, PDF</i>
2015	Kamiel	Pompa Sentrifugal	<i>PCA</i>	<i>energy level, SD, RMS, kurtosis, variance, crest factor</i>
2016	Al-Tobi & Al-Sabari	Pompa Sentrifugal	Analisis Statistik	<i>RMS &amp; Peak value</i>
2017	Ramadhan	Pompa Sentrifugal	Analisis Statistik	<i>PDF, Variance, SD, RMS, peak value, crest factor, dan kurtosis</i>
2017	Pratama	Pompa Sentrifugal	Analisis Statistik	<i>Variance, Mean, SD, RMS, Kurtosis, Skewness</i>

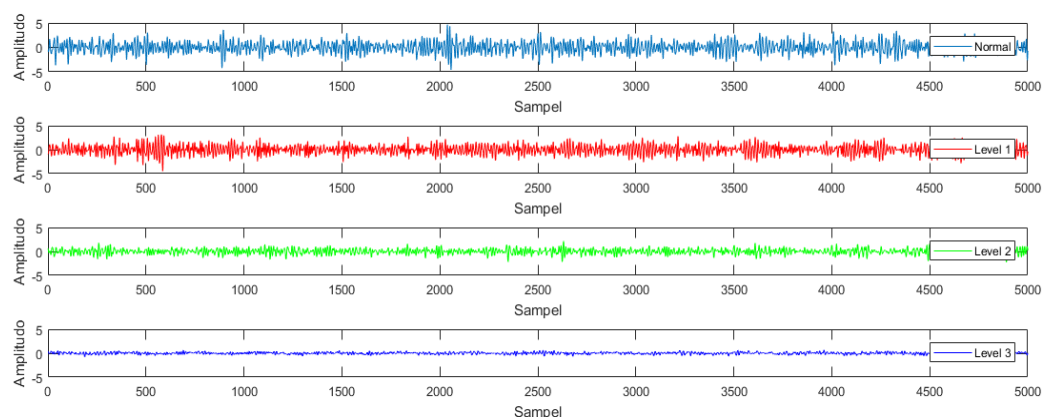
Dari hasil beberapa tinjauan penelitian pada Tabel 4.1, maka dirangkum jumlah penelitian dengan masing-masing parameter statistik pada Tabel 4.2. Dari hasil tersebut di pilih parameter yang paling banyak digunakan dan cocok untuk pemodelan PCA, yaitu *RMS*, *SD*, *peak value*, *kurtosis*, *variance*, *crest factor* dan *mean*. Namun parameter *PDF* tidak dipilih karena pada Tabel 4.1 tidak ada peneliti yang menggunakan *PDF* untuk *PCA*.

Tabel 4. 2 Rangkuman jumlah penelitian parameter statistik

Parameter Statistik	Jumlah Penelitian
<i>RMS</i>	8
<i>SD, Peak Value</i>	5
<i>Kurtosis, Crest Factor</i>	4
<i>Variance, Mean, PDF</i>	3
<i>Impulse motor, clearance factor, energi level, Skewness</i>	1

## 4.2 Data Hasil Penelitian

Sinyal mentah getaran ditampilkan pada Gambar 4.1. Terlihat jelas ada perbedaan antara sinyal getaran dari pompa normal dan kavitasi, tetapi sangat sulit untuk membedakan sinyal kondisi normal dan kavitasi ini. Maka perlu digunakan analisa lebih mendalam dengan menggunakan parameter statistik seperti yang akan dibahas selanjutnya.



Gambar 4. 1 Sinyal Getaran dari kondisi normal dan kavitasi

Secara visual, fenomena kavitasi berupa pembentukan *bubble* yang terjadi pada saluran *suction* pompa. Setiap level kavitasi tentunya menghasilkan visualisasi

yang berbeda, hal ini dapat dilihat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2. Perbedaan mendasar yang dapat dilihat dengan membandingkan Gambar 4.2 (a) dan gambar lainnya. Pada Gambar 4.2 (a) terlihat bahwa tidak ada pembentukan *bubble* yang terjadi di bagian *suction* pompa. Pada Gambar 4.2 (b), (c), dan (d) telah dilakukanutupan katup, dan *bubble* mulai terbentuk pada *suction* pompa.



(a)



(b)



(c)



(d)

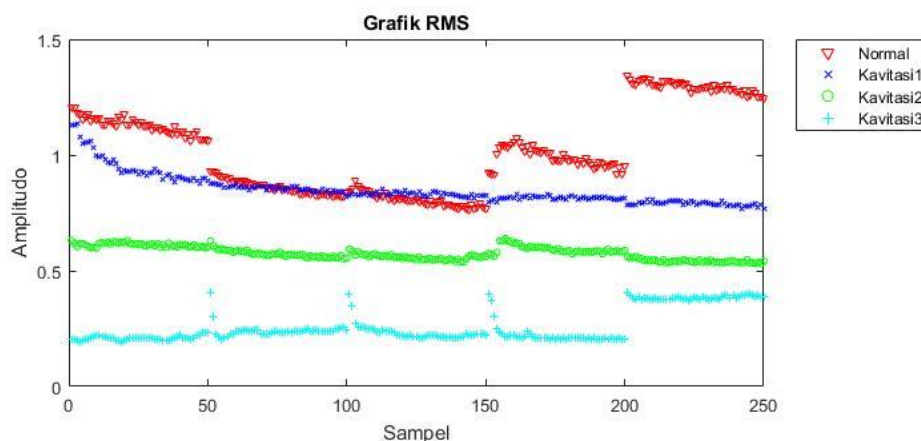
Gambar 4. 2 Visualisasi kavitasi (a) kondisi normal, (b) kavitasi dini, (c) kavitasi menengah, (d) kavitasi lanjut

### 4.2.1 Analisis Parameter Statistik

Tujuh parameter statistik dari setiap sinyal getaran dianalisa dan di bandingkan dengan setiap kondisi normal dan kavitasi. Namun tidak semua parameter statistik bisa membedakan kondisi normal dan kavitasi ini. Berikut pembahasan pada setiap parameter statistik.

#### a. *Root Mean Square (RMS)*

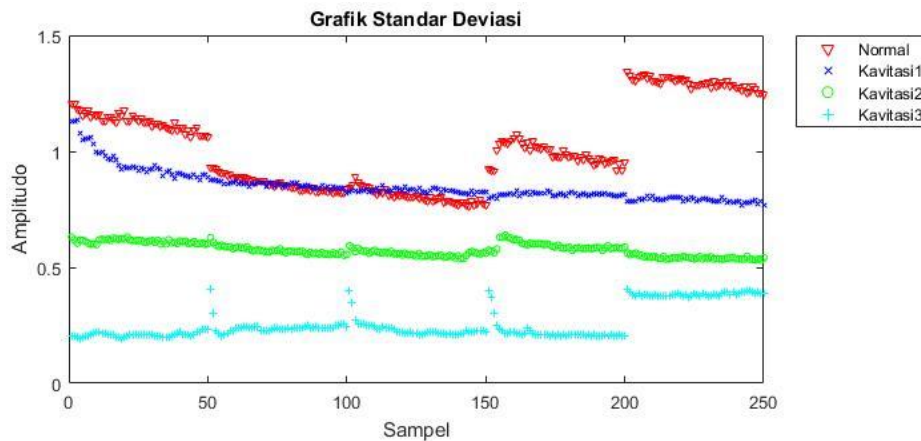
Gambar 4.3 merupakan perbandingan antara kondisi normal dan kavitasi yang menghasilkan informasi bahwa grafik statistik pada level getaran kavitasi sudah cukup terlihat, namun belum sempurna terhadap kavitasi ini, sehingga parameter ini sudah cukup sensitif untuk membedakan kondisi pompa normal dengan kavitasi.



Gambar 4. 3 Perbandingan kondisi normal dan kavitasi menggunakan *RMS*

#### b. *Standard Deviation*

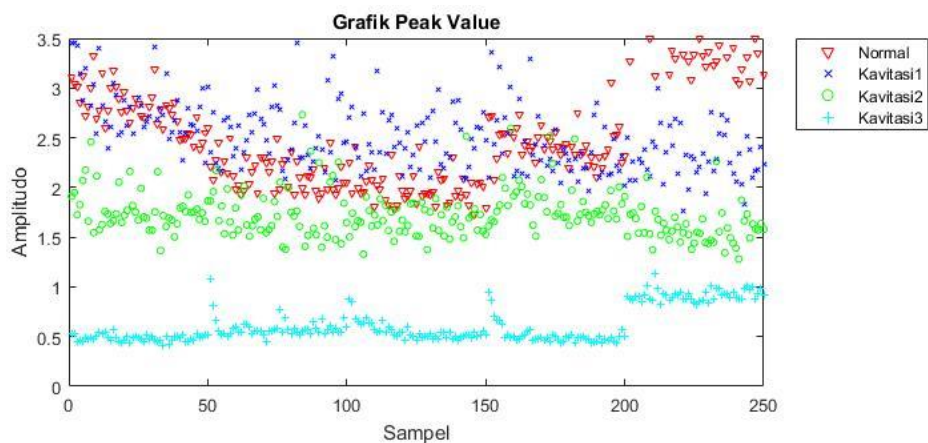
Seperti pada analisa parameter statistik sebelumnya, hasil dari *standard deviation* terlihat sangat mirip dengan *RMS* seperti pada Gambar 4.4. Hal ini dikarenakan nilai rata-rata getaran yang dihasilkan oleh sinyal sangat kecil dan tidak begitu berpengaruh pada parameter. Sehingga *RMS* dan *standard deviation* memiliki sensitivitas yang hampir sama besar untuk mendeteksi kavitasi.



Gambar 4. 4 Perbandingan kondisi normal dan kavitasi menggunakan *standard deviation*

c. *Peak Value*

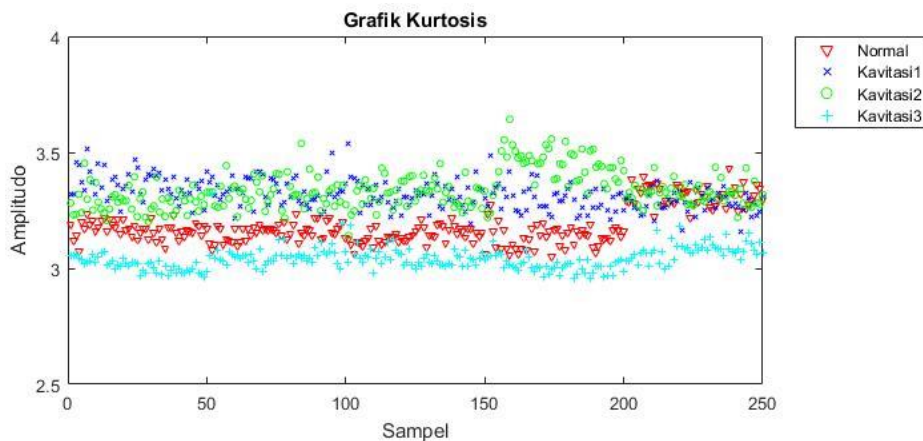
Parameter statistik selanjutnya yang di analisa adalah *peak value*. Pada Gambar 4.5 terlihat parameter ini sangat sensitif dalam membedakan kelompok data berdasarkan turbulensi aliran. Pada penelitian ini parameter *peak value* tidak dapat membedakan kondisi normal, kavitasi dini dan kavitasi menengah, namun sangat jelas menunjukkan kavitasi lanjut. Karakteristik parameter *peak value* tidak dapat membedakan kondisi normal dan kavitasi apabila tidak terjadi perubahan laju aliran yang signifikan.



Gambar 4. 5 Perbandingan kondisi normal dan kavitasi menggunakan *peak value*

d. *Kurtosis*

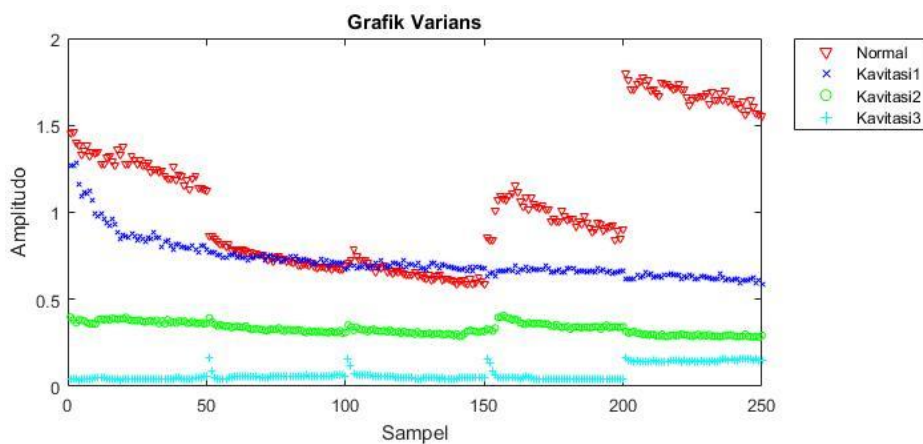
Analisa perbandingan pada *kurtosis* bisa dilihat pada Gambar 4.6 yaitu tidak terlihat perbedaan antara pompa normal dengan kavitasi dini. Namun kavitasi baru dapat dilihat pada kavitasi menengah dan kavitasi lanjut, hal ini terjadi karena pada data statistik memiliki nilai varian sedikit berbeda antara setiap set data yang akan mengurangi sentifitas parameter ini.



Gambar 4. 6 Perbandingan kondisi normal dan kavitasi menggunakan *kurtosis*

e. *Variance*

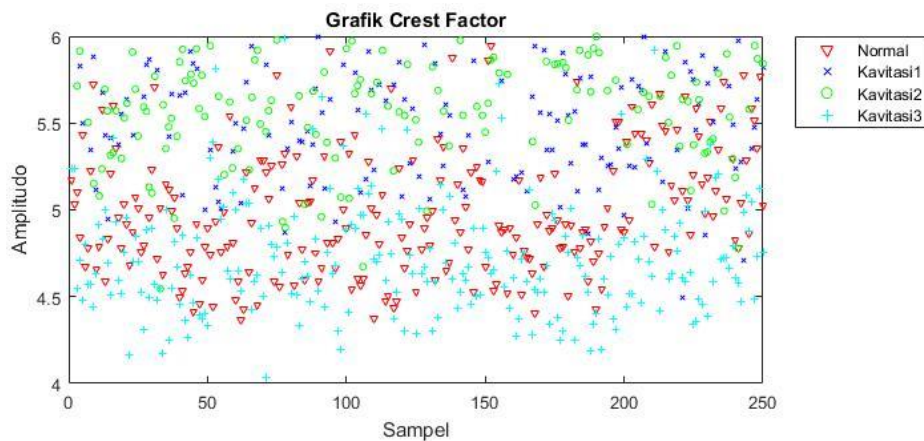
Pengamatan selanjutnya menggunakan parameter statistik *variance*. Pada Gambar 4.7 menunjukkan bahwa *variance* dapat membedakan kondisi normal, kavitasi menengah dan kavitasi lanjut, namun belum sempurna terhadap kavitasi dini. Hasilnya pada grafik menunjukkan semakin meningkat kavitasi semakin menurun amplitudonya.



Gambar 4. 7 Perbandingan kondisi normal dan kavitasi menggunakan *variance*

f. *Crest Factor*

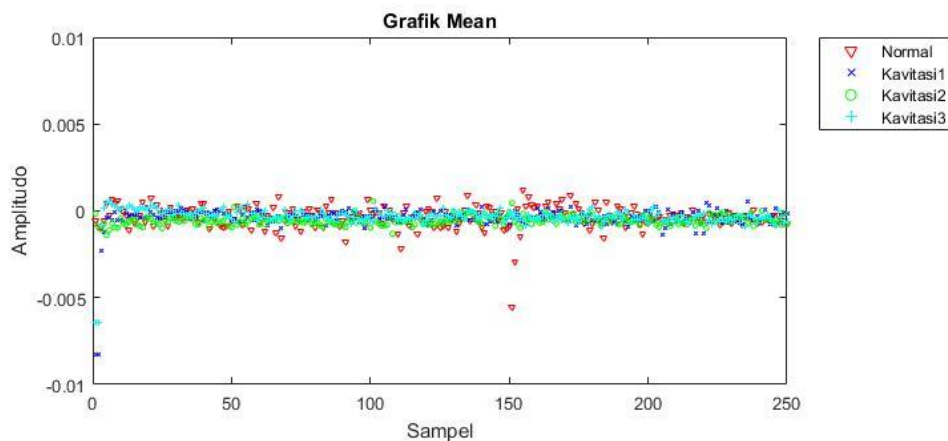
Dari pengolahan data pada parameter statistik *crest factor*, hasilnya adalah nilai yang dihasilkan mengalami kenaikan dan penurunan sehingga distribusi menjadi acak yang bisa dilihat pada Gambar 4.8. Hal ini disebabkan oleh nilai puncaknya yang tidak seragam. Oleh karena itu, parameter ini memiliki sensitifitas yang rendah dan tidak terbukti membedakan kondisi normal dan kavitasi.



Gambar 4. 8 Perbandingan kondisi normal dan kavitasi menggunakan *crest factor*

g. *Mean*

Pada parameter statistik terakhir ini, terlihat di Gambar 4.9 bahwa belum adanya perubahan yang signifikan antara kondisi normal dan kondisi kavitasi lainnya. Oleh karena itu, analisa dengan parameter statistik mean mendapatkan hasil bahwa kavitasi tidak dapat terdeteksi dengan parameter ini. Perubahan statistik tidak terjadi pada kavitasi dini, sedang dan lanjut.



Gambar 4. 9 Perbandingan kondisi normal dan kavitasi menggunakan *mean*

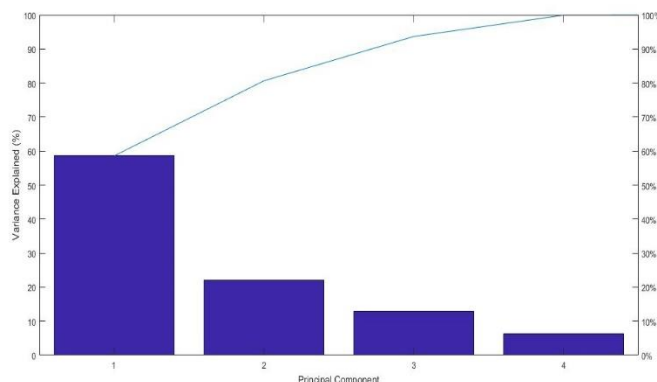
Parameter statistik *RMS*, *SD*, *variance* mampu menunjukkan perbedaan kondisi normal, kavitasi menengah dan kavitasi lanjut, namun belum sempurna terhadap kavitasi dini. *Peak value* dan *kurtosis* hanya mampu untuk mendeteksi kavitasi lanjut. *Crest factor* dan *mean* sama sekali tidak dapat untuk mendeteksi kavitasi pada data sinyal vibrasi. Hasil 7 parameter statistik menunjukkan tidak ada parameter statistik mampu untuk membedakan antara kondisi normal dan kondisi kavitasi dini. Oleh karena itu perlu metode yang lebih efisien yaitu metode yang bisa memanfaatkan semua informasi dari tujuh parameter statistik tersebut dengan melakukan kombinasi domain waktu dengan *PCA*.

#### **4.2.2 Analisis Principal Component Analysis**

Data yang telah diekstraksi ke dalam parameter statistik merepresentasikan nilai dan hal yang berbeda terhadap sinyal *vibrasi* yang dihasilkan. Setiap parameter statistik mempunyai informasi yang dibutuhkan sebagai input klasifikasi, namun terdapat banyak kesamaan informasi pada setiap parameter statistiknya. Apabila input klasifikasi memiliki banyak data dengan kandungan informasi yang sama, maka hasil klasifikasi secara visual akan mengalami penumpukan. Oleh karena itu perlu metode yang bisa memanfaatkan semua informasi dari 7 parameter statistik tersebut dengan melakukan kombinasi domain waktu dengan *PCA*.

Dari hasil ekstraksi 7 parameter statistik menghasilkan data sebanyak 3500, 1750 data di *training* dan 1750 di *testing* pada masing-masing kondisi. 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 normal dan kondisi kavitasi pada pompa sentrifugal.





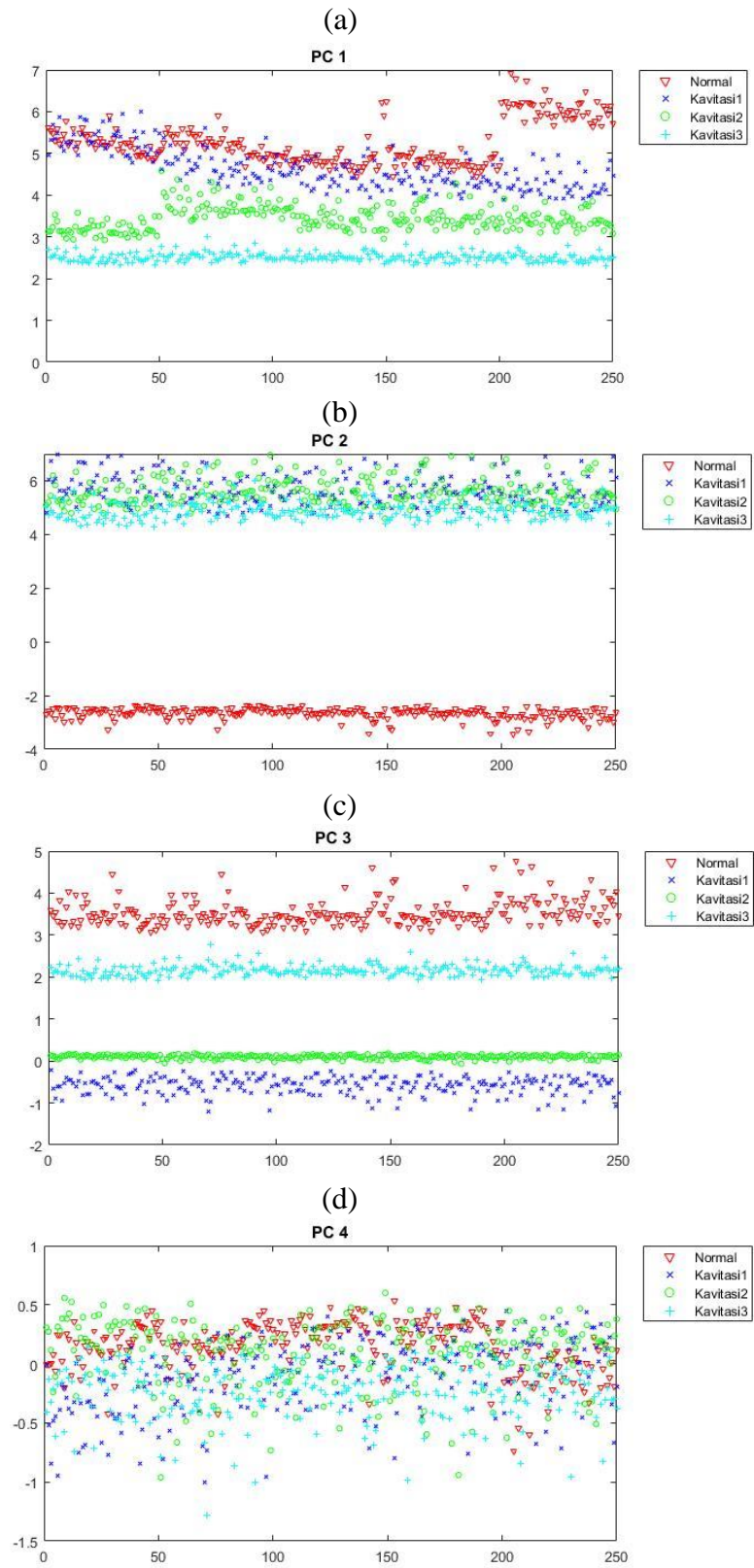
Gambar 4. 10 Grafik pareto dari 4 *principal component*

Hasil *PCA* digambarkan dalam bagan pareto pada Gambar 4.10, *PC 1* menyimpan data dengan nilai variansi sebesar 58,6%, *PC 2* menyimpan data dengan nilai variansi sebesar 22%, *PC 3* menyimpan dengan nilai variansi data sebesar 13% dan *PC 4* menyimpan data dengan nilai variansi sebesar 6,2%. Dengan jumlah variansi data dari 3 *PC* sebesar 93,68%, sudah mampu untuk memberikan informasi yang cukup untuk mewakili semua data.

Tabel 4. 3 Kontribusi parameter statistik pada masing-masing *principal component*

Paramater	PC1	PC2	PC3	PC4
<i>RMS</i>	0,441997	0,18168	-0,2051	-0,13667
<i>SD</i>	0,441996	0,181684	-0,2051	-0,13666
<i>Peak Value</i>	0,453976	-0,04195	0,106258	-0,20982
<i>Kurtosis</i>	0,377474	-0,22962	0,128974	0,886271
<i>Variance</i>	0,44605	0,159481	-0,18906	-0,07637
<i>Crest Factor</i>	0,248331	-0,48124	0,699428	-0,33594
<i>Mean</i>	-0,00826	0,788966	0,602493	0,120253

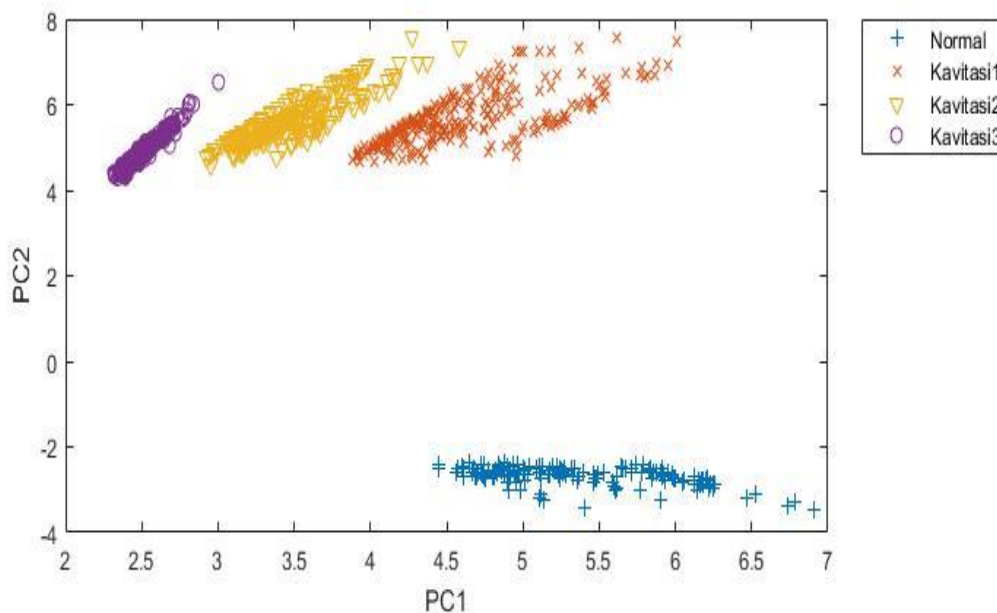
Dari hasil grafik pareto dapat dilihat kontribusi 7 parameter statistik pada masing-masing *PC*. Pada Tabel 4.3, tiap parameter mempunyai karakteristik yang berbeda untuk memberikan tingkat kontribusinya. Hasil data yang dominan pada *PC 1* adalah parameter statistik *peak value*, *variance*, *RMS* dan *standard deviation*. Nilai data yang dominan pada *PC 2* adalah *crest factor*, pada *PC 3* adalah *mean* dan pada *PC 4* adalah *kurtosis*. Selanjutnya 4 *PC* tersebut di plot untuk melihat perbandingan pada masing masing kondisi setelah di *PCA*.



Gambar 4. 11 Plot *PC* baru setelah di *PCA* (a) *PC 1* (b) *PC 2* (c) *PC 3* (d) *PC 4*

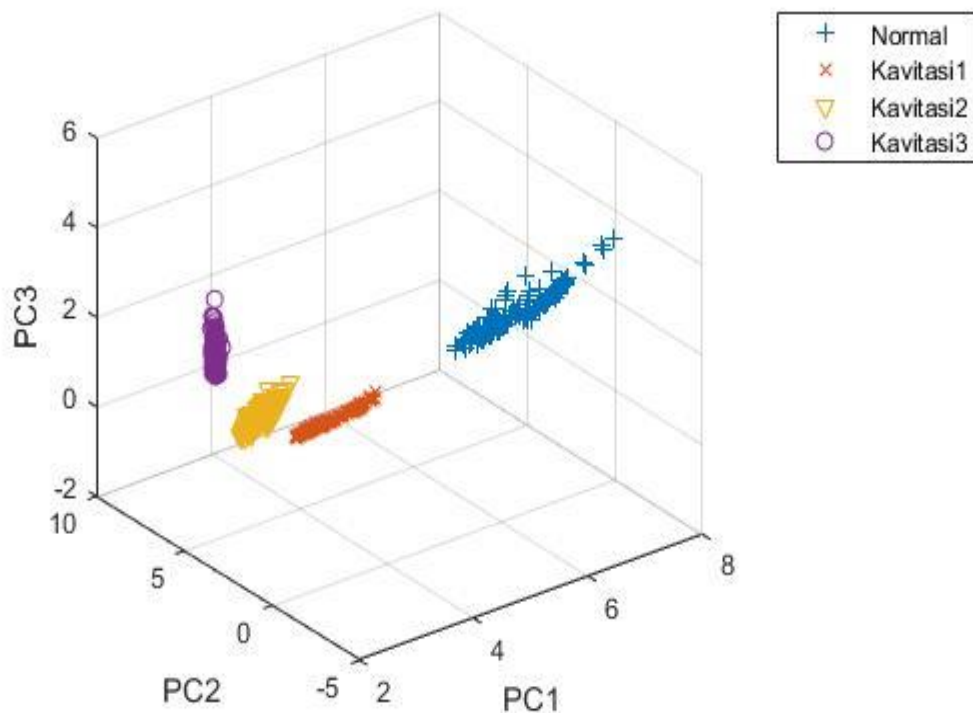
Gambar 4.11a - 4.11d secara berturut-turut menunjukkan hasil dari 4  $PC$  yang di plot untuk melihat perbandingan pada masing masing kondisi setelah di  $PCA$ . Hasilnya menunjukkan pada  $PC$  1,  $PC$  2,  $PC$  3 dan  $PC$  4 terlihat data mirip dengan kontribusi parameter statistik yang paling dominan. Namun dengan hanya satu  $PC$  terlihat tidak dapat memberikan informasi yang cukup untuk membedakan antara normal dan kavitasi. Hal ini dikarenakan informasi data yang berbeda-beda tersimpan dalam  $PC$ . Sehingga perlu menggabungkan beberapa  $PC$  untuk dapat memberikan informasi yang maksimum untuk mengidentifikasi antara kondisi normal dengan kondisi kavitasi.

Selanjutnya dapat dilihat pada gambar,  $PC$  1 dan  $PC$  2 menyimpan varians data paling besar. Hasilnya 2  $PC$  tersebut sudah mengandung 80,6% informasi dari 100% varians data. Dengan menggunakan 2  $PC$  ini, dapat dilihat pada Gambar 4.12 sudah mampu membedakan antara kondisi normal dan kondisi kavitasi, namun pada kondisi kavitasi ini terlihat data masih belum saling berkelompok. Oleh karena itu perlu ditambahkan lagi beberapa  $PC$  yang lain untuk memberikan informasi lebih pada varians data.



Gambar 4. 12 Klasifikasi kondisi pompa  $PC$  1 dan  $PC$  2

Agar informasi yang di didapatkan pada proses *PCA* semakin akurat, maka dilakukan penambahan satu *PC* lagi, yaitu *PC* ke 3 yang memiliki nilai sebesar 13% varians data sehingga informasi pada data menjadi 93,68%. Gambar 4.13 menunjukkan adanya perbedaan dari Gambar 4.12, terlihat data pada masing masing kondisi sudah berkelompok dan tidak ada data yang saling *overlap*. Hasilnya terlihat jelas bahwa *PCA* berhasil mengklasifikasi antara kondisi normal, kavitasi dini, kavitasi menengah dan kavitasi lanjut. Hal ini disebabkan oleh penambahan *PC* 3 yang berhasil menambahkan informasi pada varians data. Hasil ini sesuai dengan dasar teori, dimana semakin besar jumlah varians yang disimpan di dalam *PC*, maka akan memberikan akurasi identifikasi yang lebih tinggi.



Gambar 4. 13 Klasifikasi kondisi pompa *PC* 1, *PC* 2 dan *PC* 3