

## EKSTRAKSI PARAMETER STATISTIK PADA DOMAIN WAKTU DAN DOMAIN FREKUENSI UNTUK MENDETEKSI KAVITASI PADA POMPA SENTRIFUGAL BERBASIS *PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS* (PCA)

Niko Prastomo, Berli Paripurna K

Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta,  
Jl. Brawijaya, Tamantirto, Bantul, Yogyakarta 55183  
[nikoprastomo@outlook.com](mailto:nikoprastomo@outlook.com)

---

### ABSTRACT

Cavitation is the phenomenon which often happened on centrifugal pump. The impact of cavitation can cause decreasing of pump activities. It might cause the damage if it left unchecked too long. Recently, the popular method used to detect cavitation is vibration signal analysis method. The extraction of statistical parameters using the time domain and frequency domain are the two general basiss in vibration signal analysis. Previous research usually tends to use the statistical parameter feature in time domain or the frequency domain only, so there is still research gap that can be done by combining the time domain and frequency domain. To get more accurate results, further optimization is done using Principal Component Analysis (PCA). PCA can transform vibration signal data linearly and then classify the data, so that it can distinguish normal operating condition and cavitation. The acquisition of vibration signal data was carried out using the Test-rig cavitation scheme by varying the valve cover on the *suction* side of the pump. Vibration signal data was taken under normal condition with valve fully open condition, level 1 cavitation on valve cover by 25%, level 2 cavitation at 50%, and level 3 cavitation at 75%. Then the data was extracted into 7 features statistical parameter in time domain and 5 statistical parameters of the frequency domain. From 500 data recorded using accelerometer, the data were divided into 400 training data - 100 testing data. Data training was normalized with PCA and produced matrix loading data. Then, the data loading matrix was multiplied by testing data so that the score result was used to classify each test condition. The test results showed, PCA which use combination of features in time domain and frequency domain statistical parameters is not the most optimal method. The most optimal result in detecting cavitation was shown by PCA which used frequency parameters.

**Keywords** : centrifugal pump, cavitation, vibration signal, extraction of statistical parameters, time domain, frequency domain, Principal Component Analysis (PCA).

---

### 1. Pendahuluan

Pompa adalah alat yang berfungsi untuk mengalirkan fluida (gas dan cair) dari daerah yang bertekanan rendah ke daerah yang bertekanan tinggi. Pompa beroperasi dengan prinsip membuat perbedaan tekanan antara sisi isap (*suction*) dan sisi tekan (*discharge*) (Sularso & Tahara, 2000). Salah satu jenis pompa yang paling banyak digunakan dalam industri pompa sentrifugal.

Kerusakan yang terjadi pada pompa sentrifugal beraneka ragam dan disebabkan oleh banyak faktor seperti kebocoran akibat seal mulai rusak, keausan gear, kerusakan impeler, dan poros bengkok. Kerusakan pompa lainnya juga dapat disebabkan oleh fenomena kavitasi yang terjadi di dalam sistem. Fenomena kavitasi adalah peristiwa ketika tekanan fluida cair turun dan berada

dibawah tekanan uap jenuhnya (Brennen, 2013), sehingga menguap menimbulkan gelembung

udara yang dapat meledak seketika yang dapat merusak komponen dalam pompa.

Pompa yang mengalami kavitasi biasanya akan mengindikasikan sesuatu, seperti peningkatan suara yang ditimbulkan terdengar lebih bising dan getaran yang tinggi akibat letupan gelembung-gelembung yang pecah. Sampai saat ini terdapat banyak metode yang dapat digunakan dalam mendeteksi kavitasi. Scheffer and Girdhar (2004) mengemukakan bahwa metode analisis sinyal getaran merupakan cara yang paling efektif dalam mendeteksi awal gejala kerusakan mekanik dan elektrikal pada sebuah alat. Dengan

adanya deteksi kesalahan sedini mungkin, maka perencanaan perawatan dapat dipersiapkan dengan baik, sehingga menghemat waktu dan risiko *breakdown* dapat diminimalisir.

Dalam analisis sinyal getaran umumnya, terdapat dua basis yang paling sering digunakan yaitu menggunakan domain waktu dan domain frekuensi. Ramadhan (2017) melakukan penelitian dengan menggunakan basis domain waktu pada sinyal getaran untuk mengetahui pengaruh kecepatan operasi pompa terhadap fenomena kavitasi di dalam pompa sentrifugal. Luo *et al* (2015) juga melakukan penelitian dengan menggunakan metode analisis statistik dan karakteristik yang membuktikan bahwa parameter statistik dari domain waktu seperti *variance*, *standard deviation*, *Root Mean Square (RMS)*, *Crest Factor*, *Skewnes*, *Kurtosis*, dan *Probability Density Function (PDF)* dapat digunakan untuk mendeteksi gejala awal terjadinya kavitasi pada pompa sentrifugal.

Penelitian lainnya yang menggunakan parameter statistik domain frekuensi juga telah dilakukan sebelumnya. Domain frekuensi sendiri diperoleh dengan cara mengubah gelombang sinyal getaran domain waktu menggunakan *Fast Fourier Transform (FFT)*. Syafutra (2017) melakukan penelitian mendeteksi kavitasi pada pompa sentrifugal dengan metode FFT. Farokhzad (2013) menggunakan metode *Adaptive Network Fuzzy Inference System (ANFIS)* untuk mendeteksi kerusakan pada pompa sentrifugal. Dengan teknik FFT, dia mengekstrak fitur-fitur yang akan digunakan sebagai input ke dalam ANFIS. Hasil yang diperoleh menyatakan akurasi klasifikasi mencapai 90,67%. Hal ini menyatakan bahwa ekstraksi fitur parameter statistik berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut.

Kamiel (2015) mencoba memakai metode lain yaitu dengan cara mengkombinasikan metode *Discrete Wavelet Transform (DWT)* dan PCA dengan menggunakan 6 parameter statistik. DWT dengan *Multi Resolution Analysis (MRA)* digunakan untuk mengekstrak fitur statistik yang digunakan sebagai input ke model PCA. Dengan metode kombinasi DWT-PCA ini menunjukkan hasil bahwa metode tersebut dapat digunakan untuk mendeteksi dan mengidentifikasi *single and multi-fault* pada pompa sentrifugal, dengan tingkat sensitivitas deteksi terendah 0,3% dan akurasi identifikasi tertinggi mencapai 99,2%.

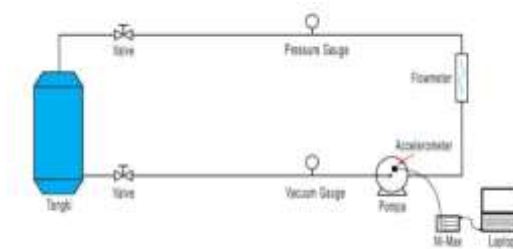
Hasil dari beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa fitur statistik yang di ekstrak dari domain waktu dan domain frekuensi berhasil

digunakan untuk mendeteksi kesalahan menggunakan metode berbasis PCA. Namun demikian belum ada standar baku standar baku dalam pemilihan parameter statistik yang akan digunakan, oleh karena itu masih terbuka penelitian dengan lebih lanjut untuk mengkombinasikan antara parameter statistik yang diekstrak dari domain waktu dan domain frekuensi sebagai input metode deteksi kesalahan berbasis PCA.

## 2. Metode Penelitian

### a. Perancangan Test-Rig Kavitasi

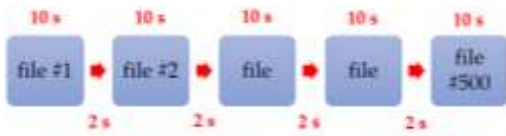
*Test-Rig* kavitasi adalah sebuah rancangan alat simulasi yang dapat digunakan untuk mendeteksi kavitasi pada pompa sentrifugal. Penelitian ini dilakukan dengan cara merekam sinyal getaran pada saat pompa beroperasi, sinyal getaran tersebut digunakan untuk mendeteksi terjadinya kavitasi pada pompa. Gambar 1 menunjukkan gambar dari rancangan alat uji penelitian. Alat uji yang dibangun terdiri dari beberapa komponen, komponen yang digunakan diantaranya pompa sentrifugal, pipa instalasi, *pressure gauge*, *vacuum gauge*, *flow meter*, *valve*, tangki penampung air, laptop, perangkat data akuisisi, dan *accelerometer*.



Gambar 1. Perancangan *Test-Rig* Kavitasi

### b. Akuisisi Data Sinyal Getaran

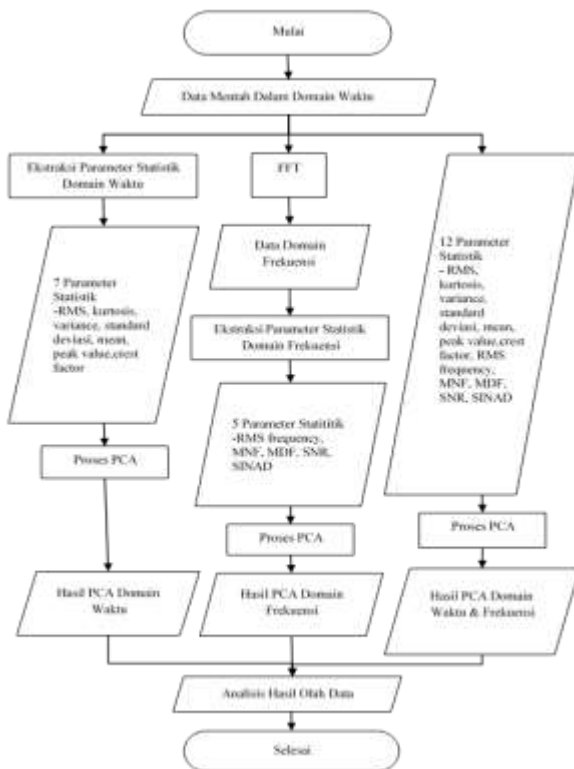
Akuisisi data ini digunakan sebagai indikator dalam mendeteksi kavitasi yang terjadi pada pompa sentrifugal. Jumlah data total yang digunakan adalah sebanyak 2000 file data. Seluruh set data tersebut dihasilkan dari 500 file pada kondisi normal operasi pompa, kondisi kavitasi level 1 500 file pada 25%utupan katup, kavitasi level 2 500 file pada 50%utupan katup, dan kondisi kavitasi level 3 500 file pada 75%utupan katup. Skema perekaman sinyal getaran dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Skema Perekaman File Data Sinyal Getaran

**c. Pengolahan Hasil Akuisisi Data**

Pengolahan data yang dilakukan pada penelitian ini dibagi menjadi tiga tahapan proses sebelum bisa diputuskan menjadi sebuah kesimpulan. Tahap pertama yaitu melakukan kalkulasi PCA dengan 7 parameter statistik dari domain waktu yang telah dipilih, kemudian yang kedua kalkulasi PCA dari 5 parameter statistik dari domain frekuensi, dan terakhir kalkulasi PCA dengan kombinasi dari parameter statistik domain waktu dan frekuensi. Diagram alir pengolahan data dapat dilihat pada Gambar 3. Seluruh proses pengolahan data yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan *software* Matlab R2017a.



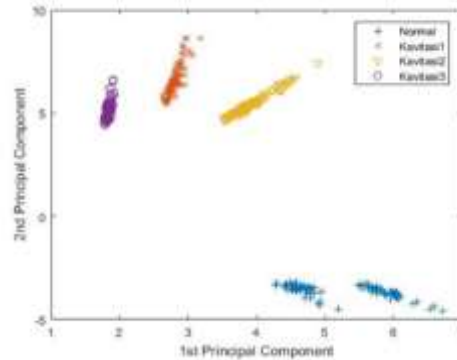
**Gambar 3.** Diagram alir pengolahan data

**3. Hasil dan Pembahasan**

**a. Analisis PCA dengan Domain Waktu**

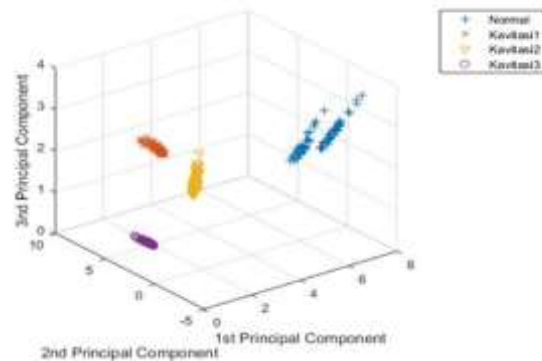
Hasil plot grafik dengan menggunakan 2 PC yang mengandung 88,01% varians data pada Gambar 4

menunjukkan data sudah terlihat memisah dan membentuk kelompok tersendiri pada setiap kondisi dibandingkan dengan sebelum menggunakan proses PCA. Hal ini membuktikan bahwa metode PCA yang memanfaatkan fitur ekstraksi parameter statistik dari domain waktu dapat dengan baik membedakan setiap variasi kondisi, bahkan pada saat pompa kondisi normal dan kondisi kavitasi tahap awal dapat terlihat jelas.



**Gambar 4.** Grafik PCA domain waktu dengan 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 7,60% varians data sehingga informasi pada data menjadi 96,61%. Gambar 5 menunjukkan adanya perbedaan dari gambar 4 terlihat data pada masing masing kondisi sudah berkelompok dan tidak ada data yang bertumpuk.



**Gambar 5.** Grafik PCA domain waktu dengan PC 1, PC 2, dan PC 3

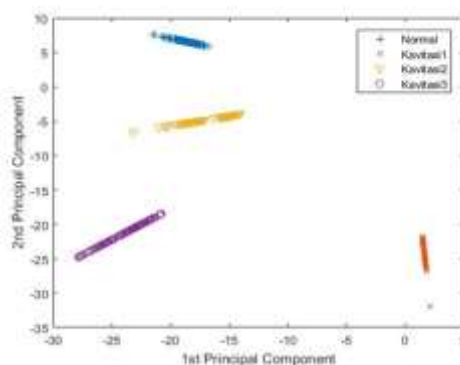
Tabel 1. Kontribusi parameter statistik domain waktu pada setiap PC

Parameter Statistik	PC1	PC2	PC3
RMS	0.45053	0.20477	0.16372
standard deviation	0.45053	0.20478	0.16372
peak value	0.46111	0.06966	0.08652
kurtosis	0.35497	0.31206	0.10487
variance	0.45452	0.17885	0.15376
crest factor	0.22033	-0.606	0.58042
mean	0.01646	0.64395	0.75323

Untuk mengetahui distribusi kontribusi setiap parameter statistik secara lengkap pada setiap PC. Ditampilkan pada Tabel 1 parameter statistik apa saja yang dominan pada PC1 diantaranya *RMS*, *standard deviation*, *peak value*, *variance*, dan *kurtosis*. Kemudian pada PC2 terdapat parameter statistik *mean*, dan pada PC3 adalah *mean* dan *crest factor*.

#### d. Analisis PCA dengan Domain Frekuensi

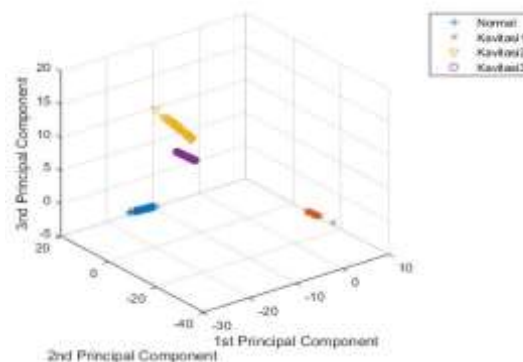
Persentase nilai varians data dari jumlah 2 PC yang ditampilkan pada Gambar 6 yaitu 83.48% dari total 100% varians data. Hasilnya terlihat sangat jelas dapat membedakan setiap kondisi pengujian, pada PCA dengan domain frekuensi ini jarak data yang memisah pada setiap kondisi pengujian terlihat lebih jauh dibandingkan hasil PCA dengan domain waktu. Data juga berada dalam satu garis lurus dan teratur, sehingga diperoleh gambar grafik sangat rapih.



Gambar 6. Grafik PCA domain frekuensi dengan PC 1 dan PC 2

Dilanjutkan lagi plot grafik menggunakan 3 PC, pemabahan PC ketiga ini menjadikan nilai varians data yang dimiliki sebesar 12,90%. Sehingga total keseluruhan varians data yang terkandung dalam 3 PC adalah 96,39%.

Pada Gambar 7 terlihat bahwa data tetap pada satu garis lurus dan data tampak menjadi lebih padat. Sehingga dengan 3 PC ini menunjukkan bahwa hasil ekstraksi fitur parameter dari domain frekuensi bisa dengan sangat baik memisahkan antara kondisi normal dan kondisi kavitasi, bahkan pada level kavitasi 1 kelompok data terlihat memisah dengan sangat jelas.



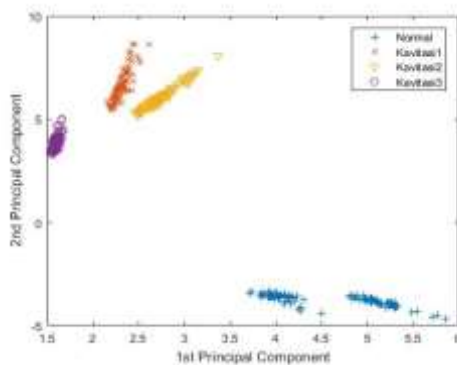
Gambar 7. Grafik PCA domain frekuensi dengan PC 1, PC 2, dan PC 3

Setiap kontribusi parameter statistik pada masing-masing PC dapat dilihat pada Tabel 2. Pada PC1 kontribusi parameter statistik yang paling dominan yaitu terdapat *RMS Frequency*, *SNR*, dan *SINAD*. Kemudian pada PC2 yaitu *median frequency*, dan terakhir pada PC3 adalah *mean frequency* dan *median frequency*.

Tabel 2. Kontribusi parameter statistik domain waktu pada setiap PC

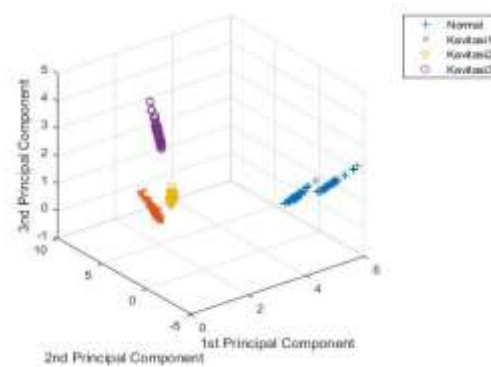
Parameter Statistik	PC1	PC2	PC3
mean frequency	0.13241	0.48138	0.85237
median frequency	0.07497	0.77982	0.51543
RMS frequency	0.48975	0.26931	0.07747
SNR	0.60757	0.20856	0.03023
SINAD	0.60650	0.21003	0.02951

e. Analisis PCA dengan Domain Waktu – Domain Frekuensi



Gambar 8. Grafik PCA domain waktu-frekuensi dengan 2 PC

Pada tahap ini dilakukan kombinasi antara parameter domain waktu dan domain frekuensi. Hasil plot dari 2 PC dengan total persentase 77.23% varians data pada Gambar 8. Kemudian ditambahkan PC ketiga sehingga total persentase nilai varians data sebesar 86%. Plot grafik dari 3 PC tampak pada Gambar 9 yang menunjukkan bahwa data pada setiap kondisi pengujian terlihat memisah, namun pada kondisi normal data terlihat terbagi menjadi 2 kelompok data. Hal ini terjadi karena ketika mencapai setengah dari kuantitas pengambilan data saat kondisi pengujian normal, pompa diistirahatkan karena terjadi *overheat*.



Gambar 9. Grafik PCA domain waktu-frekuensi dengan 3 PC

Parameter Statistik	PC1	PC2	PC3
RMS	0.37142	0.20817	0.03715
standard deviation	0.37142	0.20817	0.03715
peak value	0.37590	0.04204	0.16925
Kurtosis	0.30050	0.34421	0.09808
Variance	0.37566	0.17266	0.03116
crest factor	0.16827	0.30206	0.53636
Mean	0.00083	0.32523	0.39231
mean frequency	-7.94E-02	0.18789	-5.09E-01
median frequency	5.20E-02	0.51008	-3.52E-01
RMS frequency	0.371452	2.08E-01	-3.71E-02
SNR	2.98E-01	-3.36E-01	-2.56E-01

Tabel 2. Kontribusi parameter statistik domain waktu pada setiap PC

Setiap kontribusi parameter statistik pada masing-masing PC dapat dilihat pada Tabel 3. Pada PC1 kontribusi parameter statistik paling dominan

yaitu *RMS*, *standard deviation*, *peak value*, *kurtosis*, *variance*, *RMS frequency*. Pada PC2 adalah *mean*, *median frequency*, dan pada PC3 adalah *mean* dan *crest factor*. PC 4 adalah *mean* & *mean frequency*, dan terakhir PC 5 yaitu *mean*, *SNR* dan *SINAD*.

Dapat disimpulkan bahwa dengan menggabungkan fitur parameter statistik domain waktu dan domain frekuensi hasilnya mampu memisahkan setiap variasi kondisi pengujian. Namun hasil yang paling optimal adalah hasil dari PCA yang memanfaatkan ekstraksi parameter statistik domain frekuensi, karena dapat menampilkan grafik dengan pemisahan varians data paling jelas..

#### **4. Kesimpulan**

Hasil ekstraksi parameter statistik domain waktu dan domain frekuensi menunjukkan hasil yang beragam, hal ini menyatakan bahwa setiap parameter memiliki karakteristik tersendiri dan memberikan informasi yang spesifik terhadap data sinyal getaran. Dari total 12 parameter

statistik, parameter statistik *RMS*, *standard deviation*, *peak value*, *kurtosis*, *variance* dapat mengklasifikasikan kondisi kavitasi awal, kemudian pada parameter statistik domain frekuensi yang terbukti dapat mengidentifikasi kavitasi awal hanya *RMS frequency*. Penggunaan PCA dengan parameter statistik domain waktu menghasilkan nilai sebesar 96,61% varians data dari 3 PC, kemudian PCA dengan parameter statistik domain frekuensi sebesar 96,39% varians data dari 3 PC, dan PCA dengan parameter statistik domain waktu dan frekuensi sebesar 96,26% varians data dengan 5 PC. Hasil dari PCA yang memanfaatkan ekstraksi dari kombinasi parameter statistik domain waktu dan domain frekuensi bukan merupakan metode yang paling optimal, metode PCA yang menggunakan parameter statistik domain frekuensi yang dapat menunjukkan hasil paling optimal dalam mengklasifikasikan antara kondisi pompa normal, kavitasi level 1, kavitasi level 2, dan kavitasi level 3.

## REFERENSI

- Al Tobi, M. A. S. & Al Sabari, M. H. J. (2016). Cavitation Detection of Centrifugal Pump Using Time –Domain Method. *International Journal of Engineering Research and General Science*, 4, 161– 67.
- Brennen, E. C. (2013). Cavitation and bubble dynamics. California: Cambridge University. Diakses dari <https://doi.org/10.1017/CBO9781107338760>
- Farokhzad, S. (2013). Vibration Based Fault Detection of Centrifugal Pump by Fast Fourier Transform and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System. *Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 1, 82-87.
- Kamiel, B. P. (2015). Impeller Fault Detection for a Centrifugal Pump Using Principal Component Analysis of Time Domain Vibration Features (disertasi). Department of Mechanical Engineering Curtin University.
- Luo, Yin., Sun, Hui., Yuan, Shoqui., & Yuan, Jianping. (2015). Research on Statistical Characteristics of Vibration in Centrifugal Pump, 38, 49–61.
- Ramadhan, R. S. (2017). Pengaruh Kecepatan Operasi Pompa Sentrifugal Terhadap Sensitifitas Metode Deteksi Fenomena Kavitasi Berbasis Parameter Statistik Domain Waktu (skripsi). Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Scheffer, C., & Girdhar, P. (2004). *Machinery Vibration Analysis & Predictive Maintenance* (1<sup>st</sup> ed). Oxford: Newnes.
- Sularso & Tahara, H. (2000). *Pompa dan kompresor* (7<sup>th</sup> ed). Jakarta: Pradnya Paramita.
- Syafutra, K. (2017). Metode Deteksi Fenomena Kavitasi Pada Pompa Sentrifugal Berbasis Domain Frekuensi Sinyal Getaran (skripsi). Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Program Studi Teknik Mesin

Lembar Persetujuan Naskah Publikasi dan Abstrak Tugas Akhir (TA)

Judul TA: Ekstraksi Parameter Statistik Pada Domain ~~3D~~ dan  
Judul Naskah Publikasi: Domain Preskuensi untuk Mendeteksi Kavitasi pada pompa berputarnya  
Berbasis Principal Component Analysis (PCA).

Nama Mahasiswa: Miko Prasanto

NIM: 20140130284

Pembimbing 1: Berli Paripurna Kamel, S.T., M.M., M.Eng. Sc., Ph.D

Pembimbing 2: Dr. Bambang Riyanta ST., M.T

Hal yang dimintakan persetujuan \*:

<input type="checkbox"/> Abstrak berbahasa	<input type="checkbox"/> Naskah Publikasi	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Indonesia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Abstrak berbahasa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Inggris	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

\*beri tanda  di kotak yang sesuai

Tanda Tangan   
Nama Mahasiswa Miko Prasanto

Tanggal 6 Desember 2018

Persetujuan Dosen Pembimbing dan Program Studi

Disetujui

Tanda Tangan   
Dosen Pembimbing Berli Paripurna Kamel, Ph.D

Tanggal 6 Desember 2018

Tanda Tangan   
Ketua/Sekretaris Program Studi Berli Paripurna Kamel, Ph.D

Tanggal 6 Desember 2018

Formulir persetujuan ini mohon diletakkan pada lampiran terakhir pada naskah TA.



