

# Metode Deteksi Cacat Bantalan Pada *Fan* Industri Dengan *Time Synchronous Averaging* (TSA)

Bearing Defect Detection Method in Industrial Fan with Time Synchronous Averaging (TSA)

Yandika Fattaah Nur Rohman

---

---

## ABSTRACT

Industrial fan is a machine that is needed by an industry as another engine cooling device. One of the component that is often damaged in a fan is a bearing. The methods that are commonly used to monitor the condition of a bearing is a vibration-based method. The Time Synchronous Averaging (TSA) method is one of the vibration based method. TSA method is a method that is effective enough to reduce noise in vibration signals so that the peak amplitude of defect frequency on a bearing can be clearly seen. The TSA method was applied to axial fan testing in this research. Three types of ball bearings with different conditions, namely normal bearings, outer track defects, and deep trajectory defect in axial fan. Tests are performed alternately with each data recording as many as 30 files. The data that has been recorded is then did a time domain plot and frequency domain plot. The result obtained are then will be compared with the time domain plot and frequency domain plot at the signal preprocessing technique using TSA. The TSA method provides the results of the time domain plot and frequency domain plot before and after TSA. This research concludes that high amplitude at frequencies that coincide with the frequency of Ball Pass Frequency Outer Race (BPFO) and Ball Pass Frequency Inner Race (BPFI) makes an indication of damage to the bearings on the outer and inner trajectories. The frequency spectrum after TSA gives better results compared to the results of the frequency spectrum before TSA because noise has been reduced using TSA so that the amplitude at the defect frequency of the bearing can be seen more clearly.

**Keywords:** *Fan, vibration, noise, frequency, ball bearing, Time Synchronous Averaging*

---

---

## PENDAHULUAN

Mesin rotary banyak di jumpai di dunia industri salah satunya adalah *fan*. Secara umum *fan* berguna untuk menghasilkan suatu aliran fluida yang berupa udara. *Fan* yang digunakan terus menerus tanpa henti akan menimbulkan kerusakan pada komponennya. Hal ini seperti yang dialami oleh Gaghan mechanical Inc yang mengalami kerugian sebesar \$ 500.000 / tahun akibat berhenti beroperasinya sebuah *fan* (Gaghan, 2015). Beban berat dan kecepatan operasi yang tinggi pada *fan* tersebut menyebabkan komponen bantalan mengalami cacat. Jika bantalan pada *fan* mengalami cacat maka akan menimbulkan getaran dan suara yang tidak normal. Namun demikian suara dan getaran yang tidak normal tersebut dapat digunakan sebagai indikator untuk

menilai kondisi dari suatu bantalan. Salah satu metode yang banyak digunakan untuk memonitor kondisi dari suatu bantalan adalah metode yang berbasiskan pada getaran (Widodo, A., dkk 2013).

Adapun metode yang berbasis getaran tersebut yaitu metode domain waktu, dan domain frekuensi (spektrum) seperti yang telah diteliti oleh Widodo, A. dkk (2015). Penelitian tersebut memiliki hasil yang memuaskan dan efektif untuk mendeteksi cacat bantalan pada level awal. Salah satu kesulitan yang dihadapi ketika mendeteksi cacat pada suatu bantalan adalah *noise*. Sinyal yang didapat dari bantalan seringkali tercampur dengan *noise*. Sinyal yang tercampur dengan *noise* mengakibatkan sinyal yang ditimbulkan oleh bantalan tersebut tidak dapat dilihat dengan jelas.

Kuantitas *noise* yang muncul pada sebuah sinyal dapat dideskripsikan dengan sebuah rasio yang sering disebut *signal to noise ratio* (SNR). Semakin tinggi nilai SNR menunjukkan bahwa sinyal tersebut mempunyai *noise* yang rendah. Sinyal dengan SNR yang rendah menyebabkan deteksi cacat pada bantalan menjadi sulit. Sehingga diperlukan cara untuk mereduksi *noise* sebelum dilakukan analisis deteksi cacat pada bantalan. *Time synchronous averaging* (TSA) merupakan metode yang populer untuk mereduksi *noise* (Bechhoefer & Kingsley, 2009).

Rif'an, dkk (2014) telah melakukan penelitian tentang deteksi cacat pada roda gigi menggunakan sinyal getaran. Analisis getaran yang dilakukan pada penelitian tersebut salah satunya menggunakan metode TSA. Hal ini berbeda dengan Randall (2004) yang telah melakukan penelitian tentang deteksi cacat pada bantalan. Namun penelitian tersebut menggunakan metode yang sama yaitu metode TSA. Christian, K., dkk (2007) juga telah melakukan penelitian tentang deteksi cacat pada bantalan menggunakan metode TSA dengan hasil yang memuaskan dan efektif untuk mengetahui kondisi cacat pada bantalan.

Dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya metode berbasis getaran yang menggunakan TSA untuk mereduksi *noise* pada sinyal bantalan lebih banyak diterapkan pada mesin rotary selain *fan*. Penelitian yang khusus mendeteksi cacat bantalan pada *fan* masih jarang ditemui dalam literatur. Oleh karena itu, pada penelitian ini TSA akan diterapkan pada sinyal yang didapatkan dari *fan*. Sehingga penelitian ini mengembangkan metode deteksi cacat bantalan pada *fan* industri menggunakan *time synchronous averaging* (TSA). Objek dari penelitian ini yaitu bantalan bola jenis *self aligning double row* pada kondisi normal dan kondisi cacat. Kondisi cacat pada dua

buah bantalan bola berturut-turut dilakukan dengan merusak bagian lintasan luar (*outer race*) dan lintasan dalamnya (*inner race*).

## LANDASAN TEORI

*Fan* (kipas) adalah sebuah alat yang digunakan untuk menghasilkan aliran fluida yang berupa udara. *Fan* aksial merupakan salah satu jenis *fan* berdasarkan arah alirannya. *Fan* aksial merupakan jenis *fan* yang menggerakkan aliran udaranya sepanjang arah sumbu *fan* seperti yang ditunjukkan gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Prototipe Fan Industri

Salah satu komponen *fan* yang harus dicermati adalah bantalan karena merupakan komponen penting yang mendukung beroperasinya sebuah *fan*. Bantalan berfungsi untuk menahan beban dari komponen mesin lainnya baik berupa beban radial maupun beban aksial atau mendukung suatu poros agar tetap padaudukannya. Fungsi lain bantalan yaitu untuk mengurangi gesekan antara poros yang berputar dengan tumpuannya yang dapat mempengaruhi efisiensi kinerja dari mesin tersebut saat sedang beroperasi.

Bantalan Bola jenis *Self Aligning Double Row* merupakan salah satu jenis bantalan berdasarkan gerakan terhadap poros. Bantalan bola jenis *self aligning double row* memiliki dua baris pada cincin bagian dalam dan masing-masing

baris memiliki alur tersendiri. Pada cincin bagian luarnya terdapat alur bola. Cincin bagian dalam dari bantalan ini mampu bergerak sendiri untuk menyesuaikan posisinya. Kelebihan dari bantalan ini yaitu mampu mengatasi masalah poros yang kurang sebaris. Elemen bantalan tersebut terdiri dari bola, sangkar (*cage*), lintasan dalam (*inner race*), dan lintasan luar (*outer race*) seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Bantalan Bola *Self Aligning Double Row*

Cacat pada Bantalan

- Cacat yang terjadi pada bagian lintasan dalam menghasilkan frekuensi eksitasi *impuls* yang sering disebut dengan *Ball Pass Frequency Inner Race* (BPFI). Besarnya BPFI dapat dihitung dengan persamaan berikut ini.
 
$$BPFI = \frac{Nb}{2} fr \times \left(1 + \frac{Bd}{Pd} \times \cos \alpha\right) \dots\dots 1$$
- Cacat yang terjadi pada bagian lintasan luar menghasilkan frekuensi eksitasi *impuls* yang sering disebut dengan *Ball Pass Frequency outer race* (BPFO). Besarnya BPFO dapat dihitung dan dinyatakan dengan persamaan berikut ini.
 
$$BPFO = \frac{Nb}{2} fr \times \left(1 - \frac{Bd}{Pd} \times \cos \alpha\right) \dots\dots 2$$
- Cacat yang terjadi pada bagian bola menghasilkan frekuensi eksitasi *impuls* yang sering disebut dengan *Ball Spin Frekuensi* (BSF). Besarnya

BSF dapat dihitung dan dinyatakan dengan persamaan berikut ini.

$$BSF = \frac{Nb}{2Pd} fr \times \left(1 - \left(\frac{Bd}{Pd} \times \cos \alpha\right)^2\right) \dots\dots 3$$

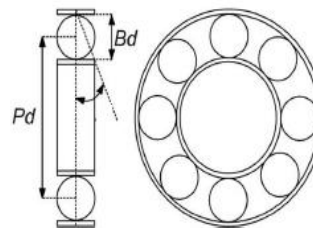
- Cacat yang terjadi pada bagian sangkar (*cage*) menghasilkan frekuensi yang sering disebut dengan *Fundamental Train Frequency* (FTF). Besarnya FTF dapat dihitung dan dinyatakan dengan persamaan berikut ini.

$$FTF = \frac{fr}{2} \times \left(1 - \frac{Bd}{Pd} \times \cos \alpha\right) \dots\dots 4$$

Dimana :

- Bd* = Diameter bola (mm)
- fr* = Frekuensi putaran poros (Hz)
- Nb* = Jumlah bola
- Pd* = Diameter *Pitch* (mm)
- $\alpha$  = Sudut kontak (derajat)

Dimensi diameter pitch dan diameter bola yang digunakan sebagai komponen perhitungan dalam mencari frekuensi cacat bantalan dijelaskan pada gambar 3 berikut ini.

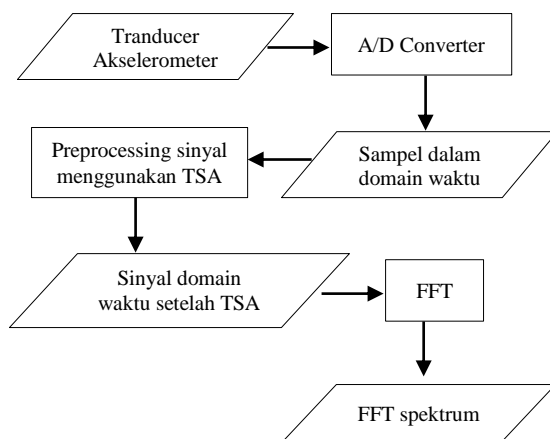


Gambar 3. Dimensi Bantalan Bola (Negara, 2018)

Bantalan yang mengalami cacat yang parah dapat menyebabkan berhenti beroperasinya sebuah mesin. Oleh karena itu bantalan perlu dimonitor secara rutin agar tidak terjadi cacat yang lebih parah. Salah satu cara untuk memonitor sebuah bantalan yaitu menggunakan analisis getaran. Metode analisis getaran yaitu domain waktu dan domain frekuensi. Namun apabila menggunakan metode tersebut masih terdapat noise pada sinyal yang telah kita rekam. Salah satu metode untuk mereduksi noise yang berbasiskan getaran yaitu metode *Time Synchronous Averaging* (TSA). TSA merupakan

teknik preprocessing sinyal untuk mereduksi noise dengan cara meratakan noise acak yang bernilai positif dan negatif secara bersamaan di tempat dan waktu yang sama sehingga mendekati nilai nol. Apabila noise mendekati nilai nol, maka noise tersebut akan berangsur-angsur turun atau tereduksi.

TSA atau sinkronisasi waktu rata-rata merupakan proses yang secara fundamental berbeda dari rata-rata spektrum biasa yang umumnya dilakukan dalam analisis *Fast Fourier Transform* (FFT). Hal ini karena memerlukan operasi terpisah untuk setiap rangkaian harmonik yang berbeda dalam sinyal termasuk *resampling* terpisah dalam setiap kasus sehingga memberikan jumlah bilangan sampel yang ditentukan per periode dan jumlah periode bilangan bulat yang akan diratakan. Dalam prakteknya hal tersebut dilakukan dengan melakukan perataan secara bersamaan serangkaian segmen sinyal masing-masing sesuai dengan satu periode sinyal sinkronisasi (Randall & Antoni, 2011). Gambar 4 merupakan skema proses dari metode TSA.



Gambar 4. Skema Proses TSA

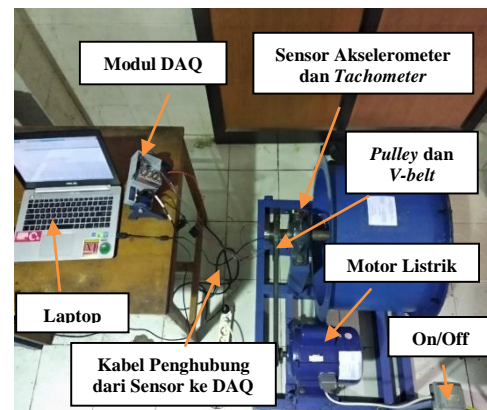
Pada penelitian ini digunakan metode analisis menggunakan *Time Synchronous Averaging* (TSA) karena metode ini dianggap efektif dalam

mereduksi *noise*. Apabila *noise* telah tereduksi maka komponen yang akan di analisis akan terlihat secara jelas pada spektrum frekuensi. Komponen yang terlihat dengan jelas tersebut akan diidentifikasi apakah terjadi kerusakan atau masih dalam keadaan baik (normal).

## METODE PENELITIAN

Deteksi cacat bantalan bola pada fan aksial dilakukan pada sebuah alat uji yang ditunjukkan pada gambar 5, dengan tiga kondisi bantalan bola. Kondisi pertama yaitu bantalan bola normal, kondisi kedua yaitu bantalan bola cacat pada bagian lintasan luar (*outer race*), dan kondisi ketiga yaitu bantalan bola cacat pada bagian lintasan dalam (*inner race*). Cacat pada bantalan bola ini dilakukan dengan cara merusak bagian lintasan luar dan lintasan dalam menggunakan *Electrical Discharge Machine* (EDM) dengan kedalaman 2 mm dan lebar 0,7 mm pada kedua bagian cacat bantalan bola tersebut.

### Skema Alat Uji Penelitian



Gambar 5. Alat Uji Bantalan Cacat pada Fan Aksial

Bantalan bola yang digunakan untuk penelitian ini adalah bantalan bola jenis *self aligning double row* merk koyo 1209K. Sebuah akselerometer diletakkan di atas rumah bantalan sedangkan *tachometer* diletakkan di samping rumah bantalan. Akselerometer

terhubung dengan kanal 1 pada modul DAQ sedangkan tachometer terhubung dengan kanal 4. Pada penelitian ini akselerometer digunakan untuk merekam sinyal getaran sedangkan tachometer digunakan untuk mengetahui kecepatan putar poros.

#### Tahap Persiapan Alat Uji

1. Mempersiapkan perlengkapan alat uji seperti motor listrik, test rig dan fan aksial.
2. Mempersiapkan perlengkapan alat seperti kunci ring pas, akselerometer, dan tachometer.
3. Melakukan persiapan tiga sampel bantalan bola yang akan diuji secara bergantian pada fan aksial.
4. Mempersiapkan perlengkapan alat uji seperti peralatan DAQ, laptop sudah menyala, *software* matlab R2018a sudah *load* dan *script* sudah benar, dan *software* NI Cdaq-9174 sudah *load*.
5. Memastikan pengaturan parameter akuisisi data sudah dilakukan dengan benar.
6. Memastikan bantalan bola telah dipasang pada *fan* aksial dengan benar.
7. Memastikan motor listrik (dinamo) dan *fan* telah terpasang ke *test rig* dengan benar bersamaan dengan pemasangan *pulley* dan *belt* pada motor listrik dan *fan* aksial.
8. Memastikan *tachometer* telah terpasang pada fan aksial dengan benar.
9. Memastikan motor listrik sudah siap untuk dinyalakan.
10. Memastikan data akuisisi telah siap untuk digunakan.
11. Melakukan pemeriksaan dan pengecekan kontruksi pada alat uji agar tidak terdapat kesalahan sebelum proses pengambilan data.
12. Memastikan bahwa aturan-aturan *safety* sudah diikuti sehingga potensi kecelakaan kerja dapat dihindari.

#### Proses Pengambilan Data

Proses pengambilan data dapat dilakukan dengan menyiapkan peralatan yang mendukung proses tersebut. Peralatan ini berupa laptop yang telah terinstal *software* matlab, data akuisisi beserta *software*-nya, akselerometer dan *tachometer*. Setelah peralatan tersebut sudah siap, tahap selanjutnya yaitu menyiapkan *script* matlab. Setelah itu tahap yang dilakukan adalah melakukan setting parameter pada *script* matlab. Tahap selanjutnya dilakukan pemasangan bantalan bola. Jumlah bantalan bola yang akan dilakukan proses pengambilan data ini berjumlah tiga buah yang dipasang secara bergantian. Ketiga bantalan bola ini memiliki kondisi yang berbeda-beda. Kondisi yang pertama yaitu bantalan normal (tanpa cacat), kondisi yang kedua yaitu bantalan bola cacat pada bagian lintasan dalam, kondisi yang ketiga yaitu bantalan bola cacat pada bagian lintasan luar.

Bantalan bola yang pertama dipasang yaitu bantalan bola dengan kondisi normal (tanpa cacat). Apabila bantalan tersebut telah terpasang dengan benar, tahap selanjutnya yang dilakukan yaitu menyalakan *test rig*. Setelah *test rig* menyala kemudian nyalakan juga data akuisisi dan *software*-nya. Data akuisisi ini diperlukan untuk menyimpan data sementara. Apabila tahap yang dilakukan sebelumnya sudah siap maka proses perekaman data siap untuk dimulai dengan jumlah data yang diambil sebanyak 30 file. Setelah perekaman data selesai, maka perlu di cek apakah data sesuai dengan yang direncanakan atau tidak. Apabila data tidak sesuai dengan yang telah direncanakan maka perekaman data harus diulang lagi hingga data sesuai rencana.

Sinyal getaran dari masing-masing kondisi bantalan direkam sesuai dengan parameter rekaman yang telah ditentukan. Proses ini dilakukan berulang kali untuk memastikan bahwa



data yang direkam telah sesuai dengan rencana. Tahapan proses pengambilan data getaran untuk setiap kondisi bantalan bola menggunakan parameter yang serupa, yaitu :

1. Menghidupkan motor dengan kecepatan putar maksimal sehingga *fan* berputar dengan kecepatan  $(3/8) \times 2850$  rpm atau sama dengan 1068 rpm.
2. Merekam data sinyal getaran bantalan bola menggunakan akselerometer dan data kecepatan poros *fan* menggunakan *tachometer* pada data akuisisi. Untuk *channel* 1 tersambung akselerometer dan untuk *channel* 4 tersambung *tachometer*.
3. Perekaman data sinyal getaran dilakukan menggunakan *software* matlab R2018a dengan proses perekaman data sebagai berikut :
  - a. Jumlah file 30 untuk per kecepatan dengan *sampling rate* 17066 Hz.
  - b. Waktu perekaman 10 detik dengan jeda 2 detik untuk setiap file.
4. Menyimpan file hasil rekaman sinyal getaran bantalan dari data akuisisi dalam bentuk file dengan ekstensi *.mat*.

#### HASIL DAN PEMBAHASAN

Sinyal getaran diperoleh dari pengukuran getaran bantalan bola pada prototipe *fan* industri dengan tiga kondisi bantalan yaitu kondisi normal, cacat lintasan luar dan cacat lintasan dalam. Dimensi dari bantalan bola jenis *Self Aligning Double Row* merek Koyo 1209K yang digunakan pada penelitian ini yang dapat dilihat pada table 1.

Tabel 1. Dimensi Bantalan Bola

Diameter luar	85 mm
Diameter dalam	45 mm
Diameter bola	9,45 mm
Diameter pitch	65 mm
Jumlah bola	32 butir
Sudut kontak ( $\alpha$ )	0°

#### Analisis Bantalan Bola Kondisi Normal

Bantalan bola kondisi normal tanpa cacat dilakukan pengujian pada fan aksial diurutkan pertama. Spektrum frekuensi yang dihasilkan dari sinyal getaran bantalan bola kondisi normal menunjukkan bahwa tidak terdapat cacat pada bantalan bola tersebut. Hal ini karena pada spektrum frekuensi nilai puncak amplitudo dari sinyal getaran bantalan bola kondisi normal cenderung tidak tinggi.

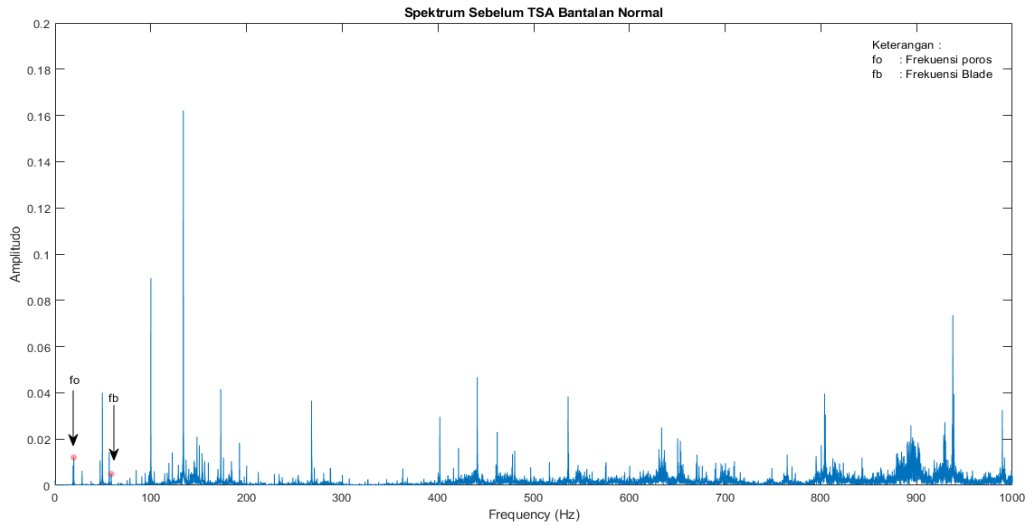
#### Spektrum Frekuensi Sebelum dan Sesudah TSA

Gambar 6 merupakan hasil plot dari domain frekuensi sebelum dilakukan TSA pada bantalan bola kondisi normal. Sinyal yang dihasilkan pada plot domain frekuensi tersebut cenderung masih memiliki banyak noise yang dapat mengganggu proses analisis dan pemantauan kondisi dari sebuah bantalan bola. Plot domain frekuensi sebelum dilakukan TSA pada gambar 6 dapat menunjukkan frekuensi poros dan frekuensi blade yang besarnya masing-masing yaitu 19,53 Hz dan 58,59 Hz dengan amplitudo sebesar 0,0006383 dan 0,0002375. Kedua frekuensi tersebut terlihat cukup jelas namun masih terdapat noise. Untuk mereduksi noise tersebut dilakukan metode TSA seperti yang ditunjukkan pada gambar 7.

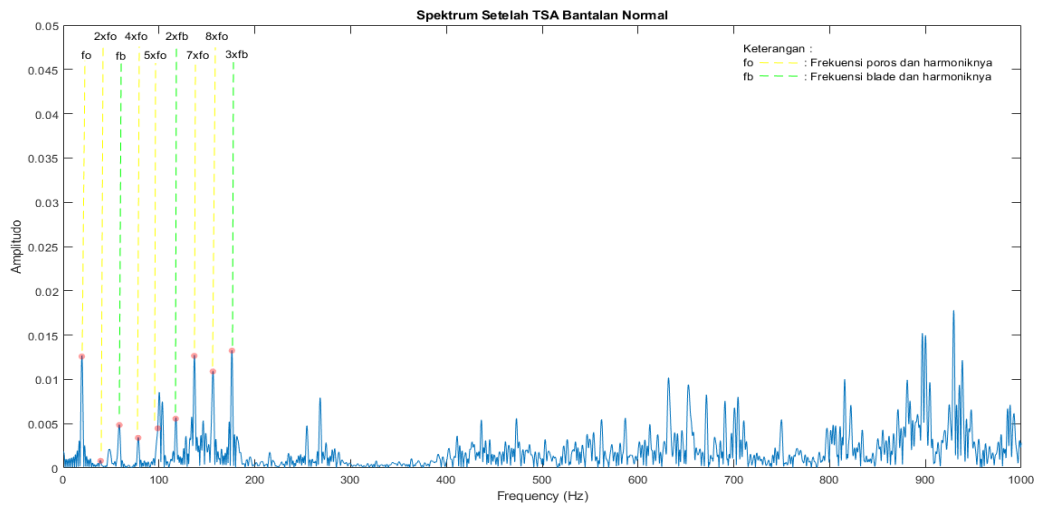
Noise pada plot domain frekuensi yang dihasilkan setelah dilakukan metode TSA seperti pada gambar 7 sudah cukup tereduksi, sehingga proses pemantauan dari kondisi sebuah bantalan bola akan lebih mudah. Perbandingan spektrum frekuensi bantalan bola sebelum dan sesudah TSA tidak berbeda jauh, perbedaan itu hanya terletak pada noise yang telah tereduksi pada spektrum setelah TSA. Dapat dilihat pada gambar 7 nilai frekuensi poros (garis putus-putus warna kuning) dan blade (garis putus-putus warna hijau) beserta harmonik kedua frekuensi tersebut lebih terlihat ketika sudah dilakukan metode

TSA. Munculnya amplitudo yang berhimpit dengan frekuensi cacat bantalan bola dapat diindikasikan bahwa terdapat cacat pada bantalan bola tersebut. Untuk bantalan bola normal

tidak terdapat indikasi kerusakan pada bagian inner race, outer race, cage, dan bolanya.



Gambar 6. Spektrum Frekuensi Sebelum TSA Bantalan Normal



Gambar 7. Spektrum Frekuensi Setelah TSA Bantalan Normal

## Analisis Cacat Bantalan Lintasan Luar

Deteksi cacat bantalan lintasan luar dilakukan dengan cara melihat puncak amplitudo BPFO pada spektrum frekuensi sebelum dan sesudah dilakukan TSA. Spektrum yang berasal dari sinyal getaran bantalan cacat lintasan luar akan menghasilkan puncak amplitudo pada frekuensi yang berhimpit atau mendekati frekuensi dari BPFO. Pada umumnya puncak amplitudo dari frekuensi cacat bantalan bola lintasan luar terjadi juga pada frekuensi-frekuensi harmoniknya. Namun demikian puncak amplitudo BPFO pada spektrum seringkali tertutup oleh noise sehingga proses identifikasi puncak amplitudo BPFO akan menjadi lebih sulit dan berpotensi tidak akurat.

### Spektrum Frekuensi Sebelum dan Sesudah TSA

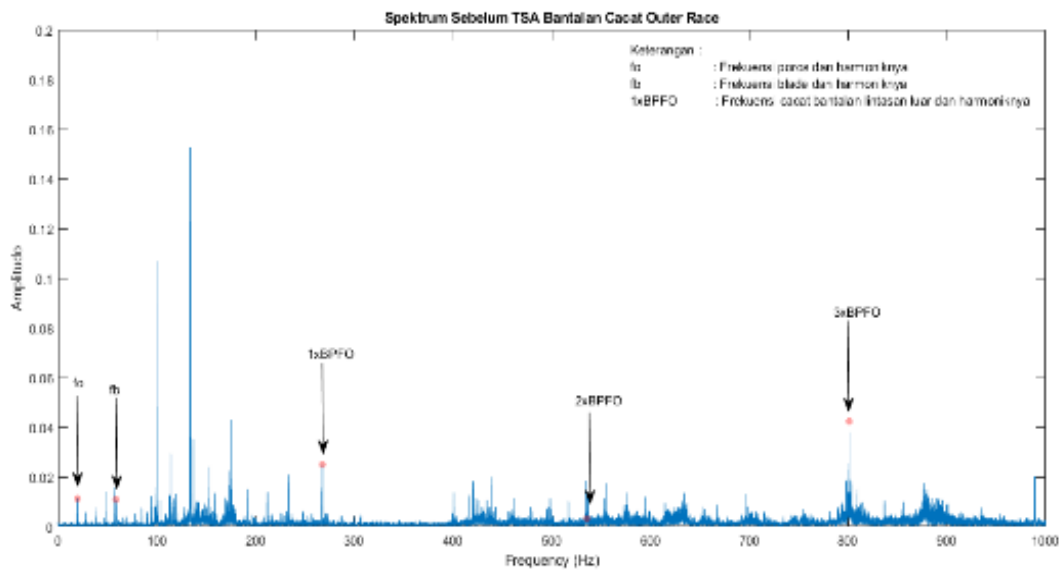
Frekuensi cacat pada bantalan bola lintasan luar telah dibahas pada persamaan 2. Frekuensi cacat bantalan bola lintasan luar ini sering disebut BPFO. Plot spektrum frekuensi pada bantalan bola cacat lintasan luar yang dihasilkan sebelum dilakukan metode TSA masih memiliki banyak noise sehingga dapat mengganggu proses analisis seperti yang ditunjukkan pada gambar 8. Pada gambar tersebut dapat dilihat terdapat frekuensi dari poros, blade, dan BPFO. Frekuensi tersebut cukup terlihat karena memiliki amplitudo yang menonjol. Apabila cacat pada sebuah bantalan masih kecil, maka amplitudo yang dihasilkan juga tidak tinggi, bahkan terkadang tertutup oleh noise sehingga saat proses analisis data, bantalan tersebut tidak ikut terpantau sehingga dapat menyebabkan cacat yang lebih parah karena cacat telah merambat dan menyebar.

Plot spektrum frekuensi pada bantalan bola kondisi cacat lintasan luar seperti yang ditunjukkan pada gambar 8 dapat

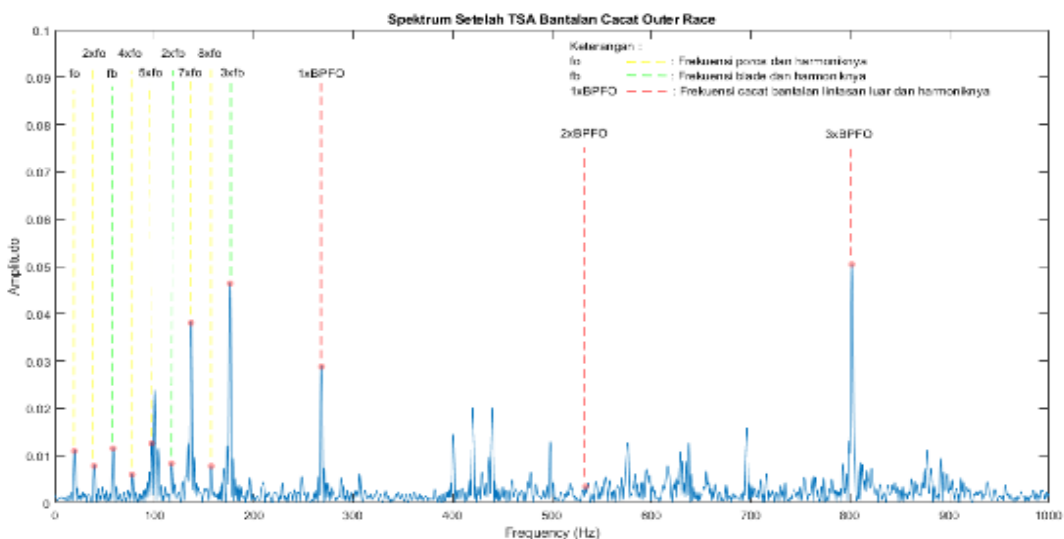
dilihat terdapat puncak amplitudo yang tinggi pada frekuensi poros dan frekuensi *blade* yang masing-masing memiliki nilai sebesar 19,53 Hz dengan amplitudo sebesar 0,0006383 dan 58,59 Hz dengan amplitudo sebesar 0,0002375. Frekuensi cacat pada bantalan bola lintasan luar terlihat diantaranya 1xBPFO, 2xBPFO, dan 3xBPFO. Pada frekuensi 1xBPFO dan 3xBPFO puncak amplitudo terlihat jelas meskipun terdapat noise, namun pada frekuensi cacat 2xBPFO puncak amplitudo tidak dapat terlihat dengan jelas karena tertutup oleh noise. Untuk mengurangi noise yang terdapat pada sinyal tersebut maka digunakan metode TSA. Metode TSA digunakan untuk membuat plot domain frekuensi seperti yang ditunjukkan pada gambar 9.

Dapat dilihat pada plot spektrum frekuensi setelah dilakukan TSA bantalan bola dengan kondisi cacat bagian lintasan luar seperti yang ditunjukkan pada gambar 9 menunjukkan amplitudo tinggi pada frekuensi poros dan harmoniknya (garis putus-putus warna kuning), frekuensi blade dan harmoniknya (garis putus-putus warna hijau), dan frekuensi cacat bantalan bola lintasan luar (BPFO) dan harmoniknya (garis putus-putus warna merah). Secara teoritik frekuensi cacat bantalan bola lintasan luar (*outer race*) pada 1x BPFO diperoleh sebesar 267,05 Hz sedangkan hasil pengukuran yang didapat sebesar 267,9 Hz dengan nilai amplitudo 0,029. Perhitungan pada 2x BPFO diperoleh sebesar 534,1 Hz sedangkan hasil pengukuran didapat 535,8 Hz dengan nilai amplitudo 0,0038. Perhitungan pada 3x BPFO diperoleh sebesar 801,15 Hz sedangkan hasil pengukuran didapat 801,8 Hz dengan nilai amplitudo 0,05.





Gambar 8. Spektrum Frekuensi Sebelum TSA Bantalan Bola Cacat Lintasan Luar



Gambar 9. Spektrum Frekuensi Setelah TSA Bantalan Bola Cacat Lintasan Luar

Perbandingan antara spektrum frekuensi sebelum dan sesudah dilakukan metode TSA dapat dilihat perbedaannya yaitu spektrum yang telah dilakukan dengan metode TSA lebih terlihat jelas dan tingkat akurasi lebih baik jika dibandingkan dengan hasil plot spektrum sebelum dilakukan TSA, sehingga amplitudo pada frekuensi cacat bantalan bola *outer race* bisa terlihat jelas dengan menggunakan metode TSA tersebut.

### Analisis Cacat Bantalan Lintasan Dalam

Deteksi cacat bantalan lintasan dalam dilakukan dengan cara melihat puncak amplitudo BPF0 pada spektrum frekuensi sebelum dan sesudah dilakukan TSA. Spektrum yang berasal dari sinyal getaran bantalan cacat lintasan dalam akan menghasilkan puncak amplitudo pada frekuensi yang berhimpit atau mendekati frekuensi dari

BPFI. Pada umumnya puncak amplitudo dari frekuensi cacat bantalan bola lintasan dalam terjadi juga pada frekuensi-frekuensi harmoniknya dan diikuti oleh *side-band*. Namun demikian puncak amplitudo BPFI pada spektrum seringkali tertutup oleh noise sehingga proses identifikasi puncak amplitudo BPFI akan menjadi lebih sulit dan berpotensi tidak akurat.

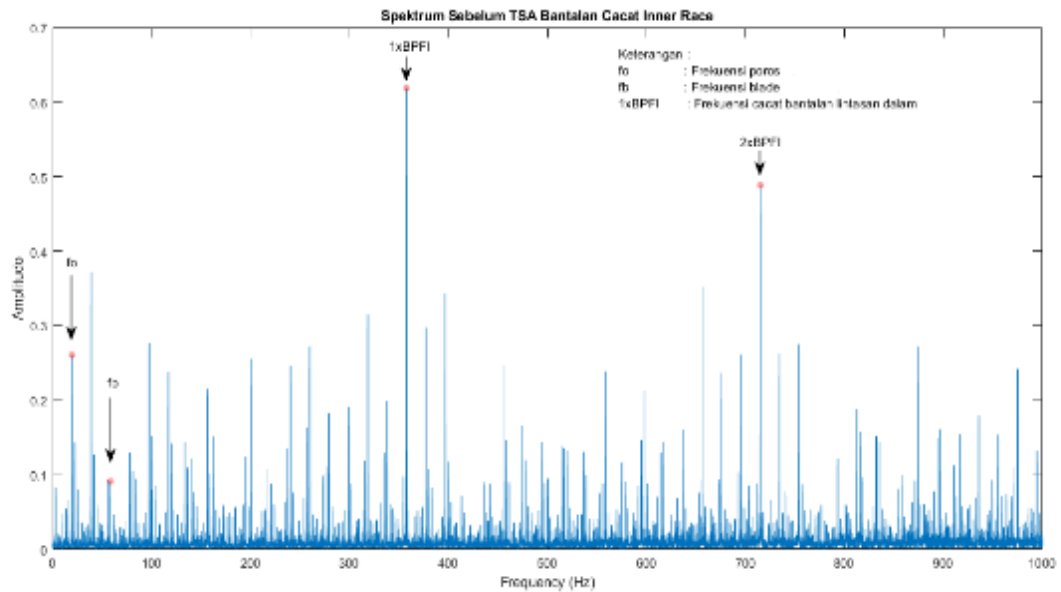
#### Spektrum Frekuensi Sebelum dan Setelah TSA

Analisis spektrum frekuensi pada bantalan bola cacat bagian lintasan dalam (*inner race*) dapat dilakukan dengan cara membandingkan hasil secara teoritik dengan hasil pengukuran. Perbandingan ini dilakukan pada hasil plot domain frekuensi antara sebelum dan sesudah dilakukan TSA dengan mencari nilai frekuensi *Ball Pass Frequency Inner Race* (BPFI) dari hasil perhitungan dengan persamaan 1. Amplitudo tinggi pada spektrum yang berhimpit dengan frekuensi yang dihitung dengan rumus (BPFI) menunjukkan terjadinya cacat pada lintasan dalam. Apabila bantalan mengalami cacat lintasan dalam (*inner race*), maka akan terjadi benturan antara bola dengan permukaan lintasan dalam saat bantalan berputar. Lokasi terjadinya benturan tersebut bisa terjadi pada *loading zone* atau di luar *loading zone*. Variasi lokasi terjadinya benturan tersebut menghasilkan sinyal yang amplitudonya termodulasi. Hal tersebut disebabkan oleh energi benturan pada *loading zone* lebih tinggi dibandingkan dengan yang terjadi di luar *loading zone*. Representasi modulasi amplitudo pada domain frekuensi yaitu keberadaan *side-band* di antara frekuensi sentral. Frekuensi sentral adalah frekuensi cacat bantalan lintasan dalam (BPFI) seperti dapat dilihat pada plot spektrum frekuensi tanpa dilakukan TSA pada gambar 10.

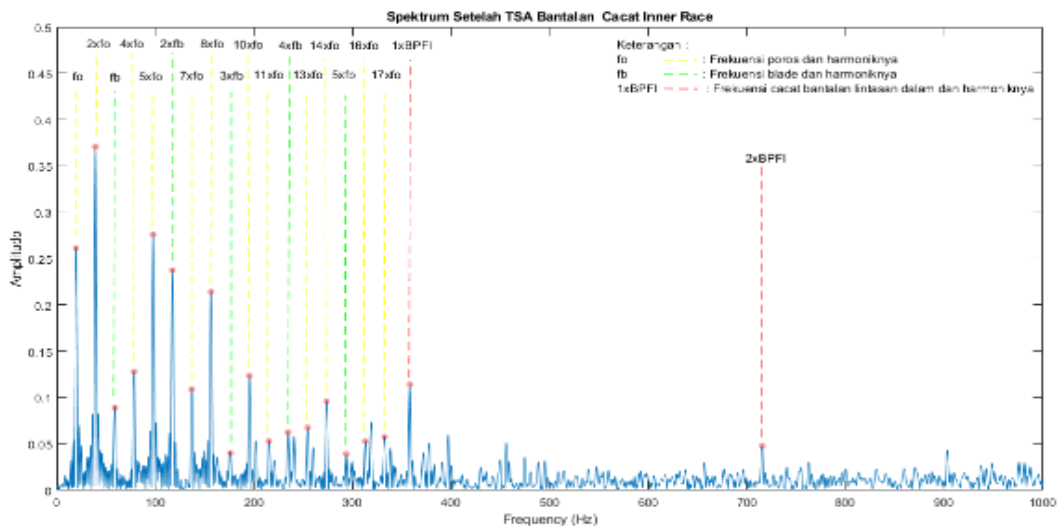
Plot spektrum frekuensi bantalan bola cacat lintasan dalam seperti pada gambar 9 menunjukkan frekuensi putaran poros dan frekuensi dari *blade* terlihat yang besarnya masing-masing yaitu 19,53 Hz dengan amplitudo sebesar 0,0006383 dan 58,59 Hz dengan amplitudo sebesar 0,0002375. Frekuensi cacat pada bantalan bola lintasan dalam 1xBPFI dan 2xBPFI terlihat jelas karena puncak amplitudo yang tinggi meskipun masih terdapat banyak noise yang mengganggu proses analisis. Untuk mereduksi dari noise tersebut digunakan metode TSA agar proses analisis menjadi semakin lebih mudah.

Gambar 10 merupakan plot spektrum frekuensi cacat bantalan bola lintasan dalam setelah dilakukan TSA. Gambar 10 tidak berbeda jauh dengan gambar 8, hanya yang membedakan noise pada gambar 10 sudah tereduksi. Pada gambar 10 dapat dilihat bahwa sinyal lebih halus karena noise yang telah tereduksi. Frekuensi dari poros dan harmoniknya (garis putus-putus warna kuning), frekuensi blade dan harmoniknya (garis putus-putus warna hijau) dan frekuensi cacat bantalan bola lintasan dalam dan harmoniknya (garis putus-putus warna merah) dapat terlihat jelas setelah dilakukan TSA pada plot spektrum gambar 11 tersebut.

Frekuensi cacat pada bantalan bola bagian lintasan dalam dapat dilihat menggunakan rumus perhitungan BPFI pada persamaan 1. Hasil frekuensi yang diperoleh dari pengukuran cacat bantalan bola *inner race* 1xBPFI yaitu sebesar 357,9 Hz, sedangkan hasil pengukuran frekuensi yang dapat dilihat dari plot spektrum pada gambar 4.18 sebesar 357,9 Hz dengan amplitudo sebesar 0,115. Perhitungan yang diperoleh pada 2x BPFI diperoleh sebesar 715,8 Hz sedangkan hasil pengukuran yang didapat pada plot grafik pada gambar 11 yaitu sebesar 715,5 Hz dengan nilai amplitudo 0,048.



Gambar 10. Spektrum Frekuensi Sebelum TSA Bantalan Cacat Inner



Gambar 11. Spektrum Frekuensi Setelah TSA Bantalan Cacat Inner

Perbandingan antara spektrum sebelum dan sesudah dilakukan TSA pada bantalan bola cacat pada bagian lintasan dalam (*inner race*) hampir sama, namun plot spektrum yang telah dilakukan analisis menggunakan metode TSA lebih terlihat jelas frekuensinya karena *noise* telah tereduksi, sehingga tingkat akurasi pemantauan kondisi dari cacat bantalan bola lintasan dalam menggunakan metode TSA lebih baik daripada tanpa menggunakan metode TSA.

## KESIMPULAN

Setelah melakukan serangkaian analisis cacat (kerusakan) pada bantalan bola, maka dapat ditarik kesimpulan beberapa hal yang menjadi hasil akhir dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pada analisis spektrum sebelum dan sesudah menggunakan metode TSA nilai amplitudo dari poros dan *blade* beserta harmoniknya terlihat jelas. Spektrum frekuensi sebelum dilakukan TSA relatif memiliki banyak *noise*, sehingga perlu dilakukan metode TSA agar *noise* bisa tereduksi. Amplitudo dari frekuensi cacat bantalan pada *inner race* dan *outer*

- race* lebih terlihat setelah dilakukan metode TSA akibat *noise* yang sudah tereduksi, sehingga metode TSA dianggap cukup efektif untuk mendeteksi cacat pada bantalan tersebut.
2. Dari hasil spektrum frekuensi yang diperoleh dari bantalan bola cacat *outer race* dan *inner race* nilai frekuensi BPFO dan frekuensi BPF1 memiliki puncak amplitudo yang cukup tinggi. Spektrum yang dilakukan metode TSA tingkat akurasi lebih baik karena noise bisa tereduksi sehingga sinyal yang dihasilkan lebih halus daripada tanpa dilakukan metode TSA. Hasil dari frekuensi cacat bantalan bola lintasan luar pada 1xBPFO sebesar 267,9 Hz dan pada frekuensi 2xBPFO sebesar 535,8 Hz dengan puncak amplitudo masing-masing sebesar 0,029 dan 0,0038. Sedangkan hasil dari frekuensi cacat bantalan bola lintasan dalam pada 1xBPF1 sebesar 357,9 Hz dan pada frekuensi 2xBPF1 715,5 Hz dengan puncak amplitudo masing-masing sebesar 0,115 dan 0,048. Puncak Amplitudo dari masing-masing bantalan bola tersebut menunjukkan bahwa terdapat cacat yang cukup besar.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Bechhoefer, E., & Kingsley, M. (2009). A review of time synchronous average algorithms. In *Annual Conference of the Prognostics and Health Management Society* (pp. 1–10). Retrieved from [http://turbinephd.nrgsystems.com/pdfs/Review\\_of\\_Time\\_Synchronous\\_Average\\_Algorithms.pdf](http://turbinephd.nrgsystems.com/pdfs/Review_of_Time_Synchronous_Average_Algorithms.pdf)
- Christian, K., Mureithi, N., Lakis, A., & Thomas, M. (2007). On the use of time synchronous averaging, independent component analysis and support vector machines for bearing fault diagnosis. In *First International Conference on Industrial Risk Engineering* (pp. 610–624). Montreal. Retrieved from [http://profs.etsmtl.ca/mthomas/Publications/Publications/VI04\\_Manual\\_Komgom\\_.pdf](http://profs.etsmtl.ca/mthomas/Publications/Publications/VI04_Manual_Komgom_.pdf)
- Gaghan, K. P. (2015). The Practical Side of Vibration Testing and Analysis. *Sound And Vibration*, 49(6), 10–12,16. Retrieved from <https://search.proquest.com/docview/1698608873?accountid=62100>
- Negara, G. A. (2018). Deteksi Cacat Multi Jenis Pada Bantalan Tipe Double Row Menggunakan Sinyal Vibrasi, 5–34.
- Randall, R. B. (2004). State of the Art in Monitoring Rotating Machinery – Part 2. *Journal of Sound and Vibration*, 38(5), 10–17. Retrieved from <https://search.proquest.com/docview/194512245?accountid=62100>
- Randall, R. B., & Antoni, J. (2011). Rolling element bearing diagnostics-A tutorial. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 25(2), 485–520. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2010.07.017>
- Rif'an, Widodo, A., & Satrijo, D. (2014). Deteksi kerusakan roda gigi dengan analisis sinyal getaran berbasis domain waktu, 2(3), 182–189. Retrieved from <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jtm/article/view/9610>
- Widodo, A., Rozaqi, L., Haryanto, I., & Satrijo, D. (2013). Development of wireless smart sensor for structure and machine monitoring. *Telkomnika*, 11(2), 417–424. <https://doi.org/10.12928/TELKOMNIKA.v11i2.591>
- Widodo, A., Satrijo, D., & Prahasto, T. (2015). Deteksi Kerusakan Roda Gigi Dengan Analisis Sinyal Getaran. *Rotasi*, 17(2), 67–75. Retrieved from <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/rotasi/article/view/8558>

---

**PENULIS:**

Yandika Fattaah Nur Rohman

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas  
Teknik, Universitas Muhammadiyah  
Yogyakarta, Jalan Lingkar Selatan,  
Tamantirto, Kasihan, Bantul, Yogyakarta  
55183.

Email : [fattaah.nurrohman@gmail.com](mailto:fattaah.nurrohman@gmail.com)



# Program Studi Teknik Mesin

## Lembar Persetujuan Naskah Publikasi dan Abstrak Tugas Akhir (TA)

Judul TA: Metode Deteksi Cacat Bantalan pada Fan Industri dengan Time Synchronous Averaging (TSA)

Judul Naskah Publikasi: Metode Deteksi Cacat Bantalan pada Fan Industri dengan Time Synchronous Averaging (TSA)

Nama Mahasiswa: Yandika Fattaah Nur Rohman

NIM: 20140130127

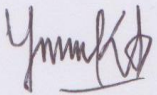
Pembimbing 1: Berli Paripurna Kamiel, S.T., M.Eng.Sc, Ph.D.

Pembimbing 2: Drs. Sudarisman, M.S. Mechs., Ph.D.

Hal yang dimintakan persetujuan \*:

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

\*beri tanda √ di kotak yang sesuai



Yandika Fattaah Nur Rohman

Tanggal, 6 September 2018

## Persetujuan Dosen Pembimbing dan Program Studi

Disetujui



Berli Paripurna Kamiel, S.T., M.Eng.Sc, Ph.D.

Tanggal, 6 September 2018

Berli Paripurna Kamiel, S.T., M.Eng.Sc, Ph.D.

Tanggal, 6 September 2018

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