

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan membahas hasil dari penelitian uji cacat bantalan bola pada prototipe *fan* industri. Penelitian ini dilakukan untuk mendeteksi cacat pada bantalan bola dengan tiga kondisi bantalan bola (bantalan normal, bantalan cacat *inner race*, bantalan cacat *outer race*) yang uji secara bergantian.

4.1 Data Penelitian

Data yang diperoleh dari penelitian pada pengukuran getaran bantalan bola pada prototipe *fan* industri dengan kondisi normal, cacat pada lintasan luar (*outer race*), dan cacat pada lintasan dalam (*inner race*). Berikut adalah dimensi dari bantalan bola jenis *Self Aligning Double Row* merek Koyo 1209K yang digunakan pada penelitian ini yang dapat dilihat pada table 4.1 :

Tabel 4.1 Dimensi Bantalan Bola Koyo 1209K

Diameter Luar	85 mm
Diameter Dalam	45 mm
Diameter Bola	9,45 mm
Diameter Pitch	65 mm
Jumlah Bola	32 Butir
Sudut Kontak (α)	0°

Table 4.1 digunakan untuk mencari frekuensi cacat bantalan bola pada lintasan dalam (BPFI) dan lintasan luar (BPFO). Hasil perhitungan dari nilai frekuensi cacat pada bantalan bola lintasan bagian dalam (BPFI) diperoleh dari persamaan 2.1 pada bab II yang ditunjukkan pada tabel 4.2 berikut ini:

Tabel 4.2 Frekuensi Cacat Pada Bantalan Bola Lintasan Dalam

Keterangan	Hasil Perhitungan
1x BPFI	357,9 Hz
2x BPFI	715,8 Hz
3x BPFI	1073,7 Hz
4x BPFI	1431,6 Hz
5x BPFI	1789,5 Hz

Hasil perhitungan dari nilai frekuensi pada cacat bantalan bola lintasan bagian luar (BPFO) diperoleh dari persamaan 2.2 pada bab II ditunjukkan pada tabel 4.3 berikut ini:

Table 4.3 Frekuensi Cacat Pada Bantalan Bola Lintasan Luar

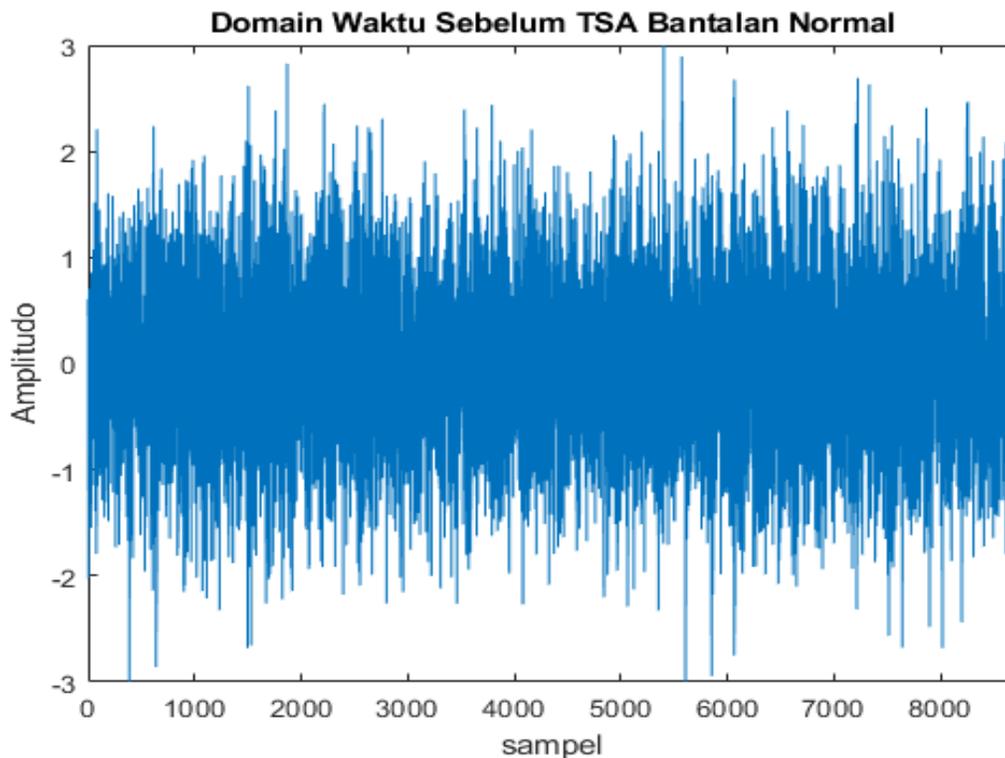
Keterangan	Hasil Perhitungan
1x BPFO	267,05 Hz
2x BPFO	534,1 Hz
3x BPFO	801,15 Hz
4x BPFO	1068,2 Hz
5x BPFO	1335,2 Hz

4.2 Sinyal Getaran Pada Kondisi Bantalan Bola Normal

Sinyal getaran yang diperoleh dari hasil pengukuran getaran pada bantalan bola prototipe *fan* industri yang dapat ditampilkan pada empat bentuk plot grafik diantaranya yaitu plot grafik domain waktu sebelum TSA, domain waktu setelah TSA, domain frekuensi (spektrum) sebelum TSA, dan domain frekuensi setelah TSA. Berikut adalah grafik dari hasil pengujian bantalan bola normal.

4.2.1 Hasil Dari Plot Domain Waktu Sebelum TSA

Berikut ini adalah hasil plot domain waktu pada pengujian kondisi bantalan bola normal diambil dalam waktu 10 detik dan jeda 2 detik dengan *sampling rate* sebesar 17066 Hz seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1 berikut ini.

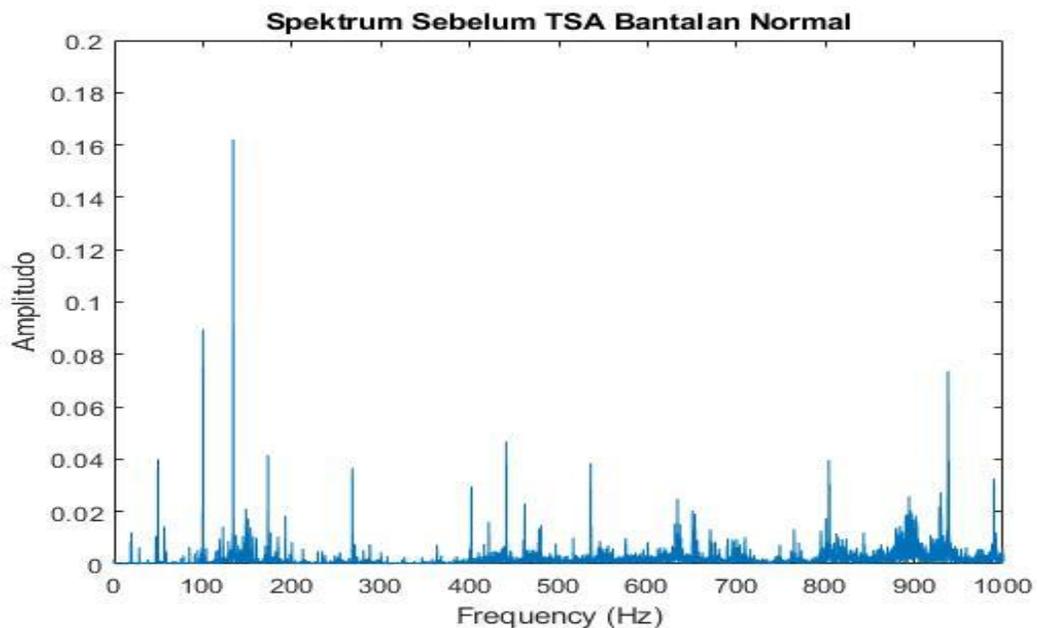


Gambar 4.1 Plot Domain Waktu Sebelum TSA pada Bantalan Bola Kondisi Normal

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa pada plot domain waktu pada bantalan bola pada kondisi normal (tanpa cacat) sulit untuk diidentifikasi karena bentuk gelombang tidak beraturan.

4.2.2 Hasil Plot Domain Frekuensi (Spektrum) Sebelum TSA

Berikut ini adalah hasil plot domain frekuensi pada pengujian kondisi bantalan normal (tanpa cacat) diambil dengan waktu 10 detik dan jeda 2 detik dengan *sampling rate* sebesar 17066 Hz seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.2 berikut ini.

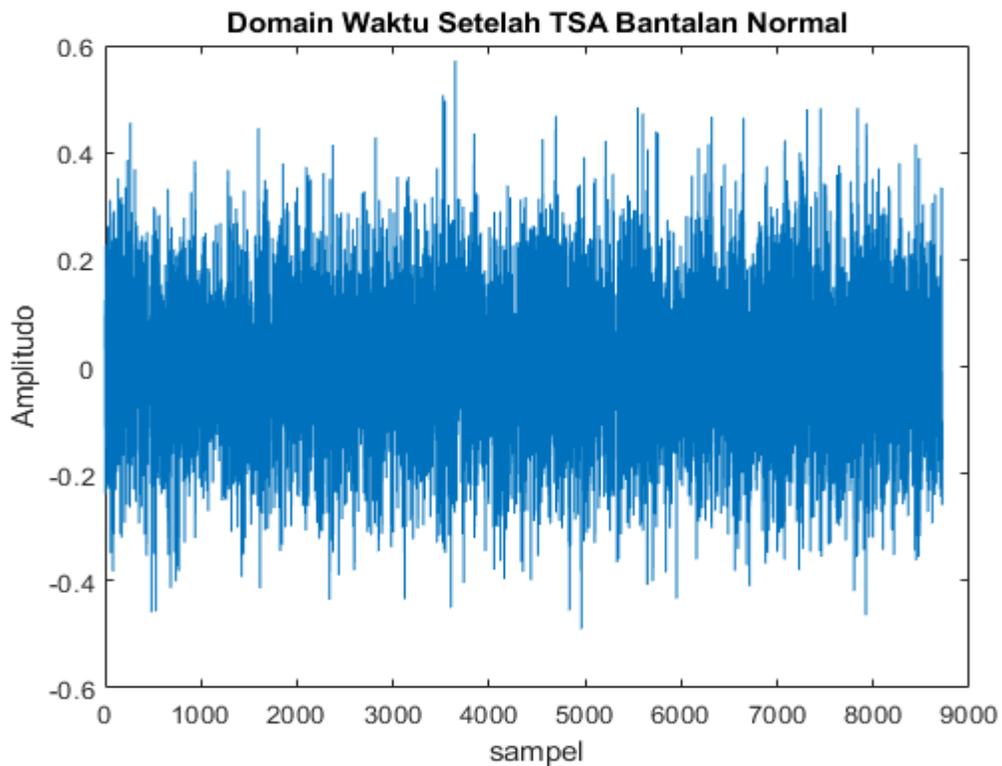


Gambar 4.2 Plot Domain Frekuensi Sebelum TSA pada Bantalan Bola Kondisi Normal

Plot domain frekuensi (spektrum) pada gambar 4.2 tersebut merupakan transformasi (FFT) dari time domain pada gambar 4.1. Grafik pada spektrum ini bisa dilakukan analisis apakah terdapat cacat pada bantalan bola normal, akan tetapi proses analisis menjadi sulit akibat terdapat banyak *noise* (semacam rumput pada sinyal) yang menutupi frekuensi bantalan bola normal. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis TSA untuk mereduksi *noise* tersebut.

4.2.3 Hasil Plot Domain Waktu Setelah TSA

Berikut ini merupakan hasil dari plot domain waktu setelah dilakukan analisis TSA pada pengujian bantalan kondisi normal (tanpa cacat) diambil dengan waktu 10 detik dan jeda 2 detik dengan *sampling rate* sebesar 17066 Hz seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.3 berikut ini.

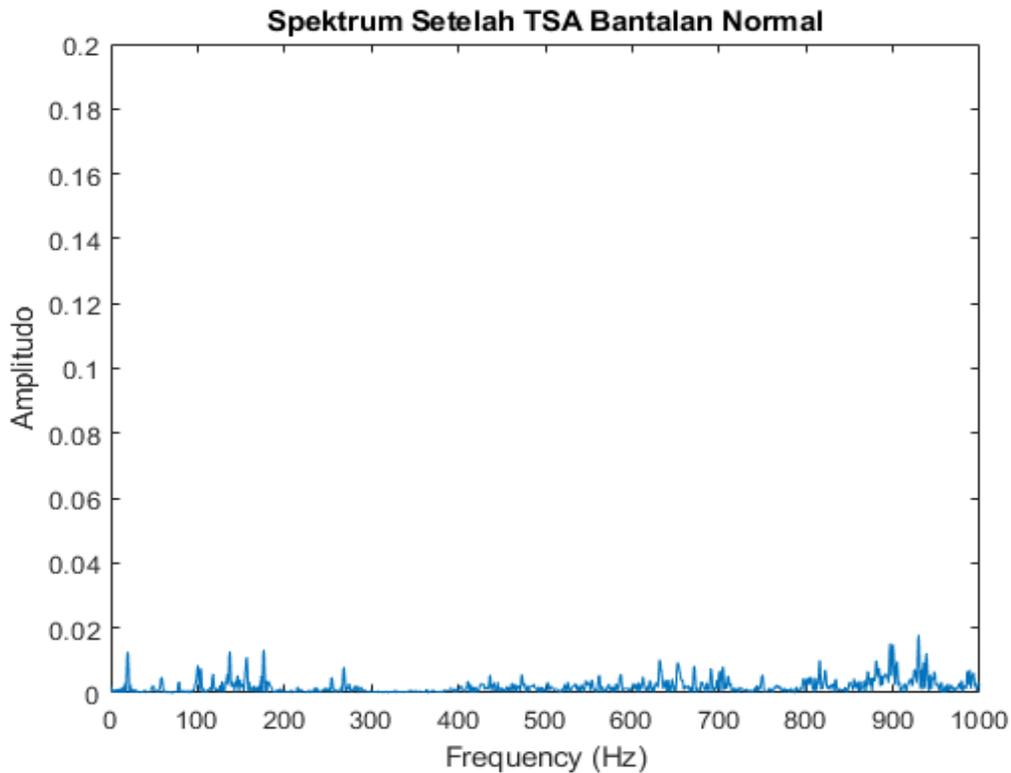


Gambar 4.3 Plot Domain Waktu setelah TSA pada Bantalan Bola Kondisi Normal

Plot Domain waktu yang telah dilakukan analisis TSA seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.3 diatas dapat memperlihatkan bentuk gelombang asli karena *noise* sudah tereduksi akibat proses dari TSA yang merata-ratakan antara nilai positif dan negatif pada sebuah sinyal di tempat yang sama.

4.2.4 Hasil Plot Domain Frekuensi (Spektrum) Setelah TSA

Berikut ini merupakan hasil dari plot domain frekuensi setelah dilakukan analisis TSA pada pengujian bantalan kondisi normal (tanpa cacat) diambil dengan waktu 10 detik dan jeda 2 detik dengan *sampling rate* sebesar 17066 Hz seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.4 berikut ini.



Gambar 4.4 Plot Domain Frekuensi Setelah TSA pada Bantalan Bola Kondisi Normal

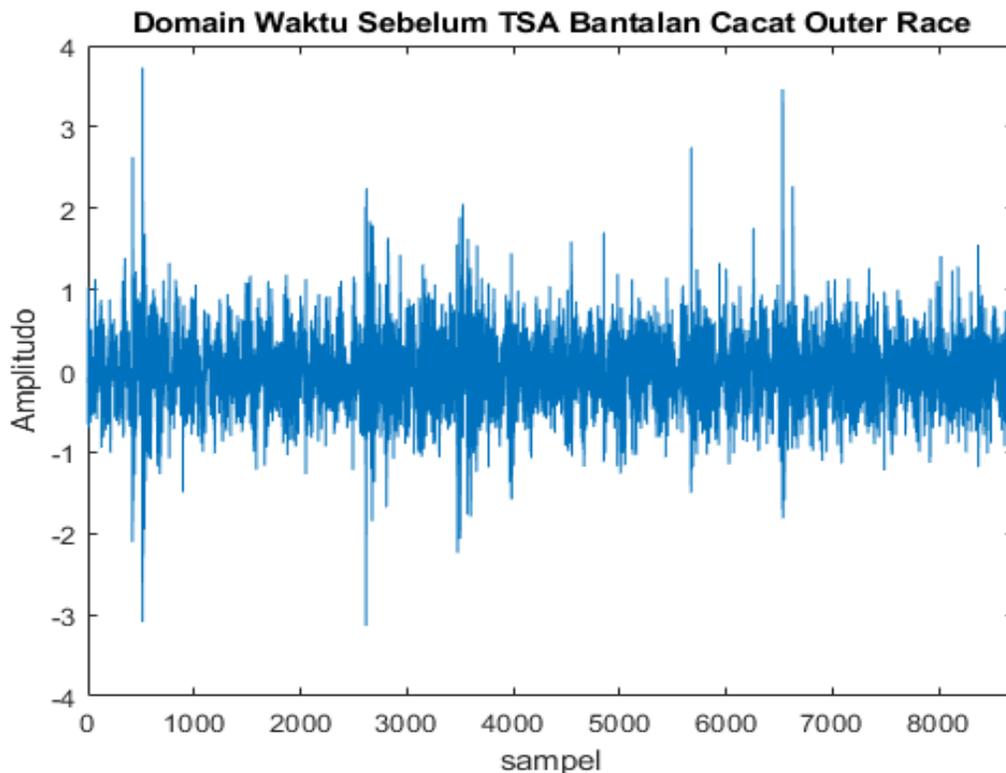
Spektrum yang terbentuk setelah dilakukan proses TSA semakin lebih jelas untuk diidentifikasi apakah banatalan bola tersebut mengalami cacat atau tidak. Metode TSA diyakini efektif dalam proses analisis data sehingga diterapkan pada penelitian ini.

4.3 Sinyal Getaran Pada Kondisi Bantalan Cacat Lintasan Luar

Sinyal getaran yang terdapat pada cacat bantalan bola lintasan luar pada *fan* industri dapat ditunjukkan oleh empat grafik plot diantaranya yaitu plot domain waktu sebelum TSA, plot domain waktu setelah TSA, plot domain frekuensi sebelum TSA, dan plot domain frekuensi setelah TSA.

4.3.1 Hasil Plot Domain Waktu Sebelum TSA

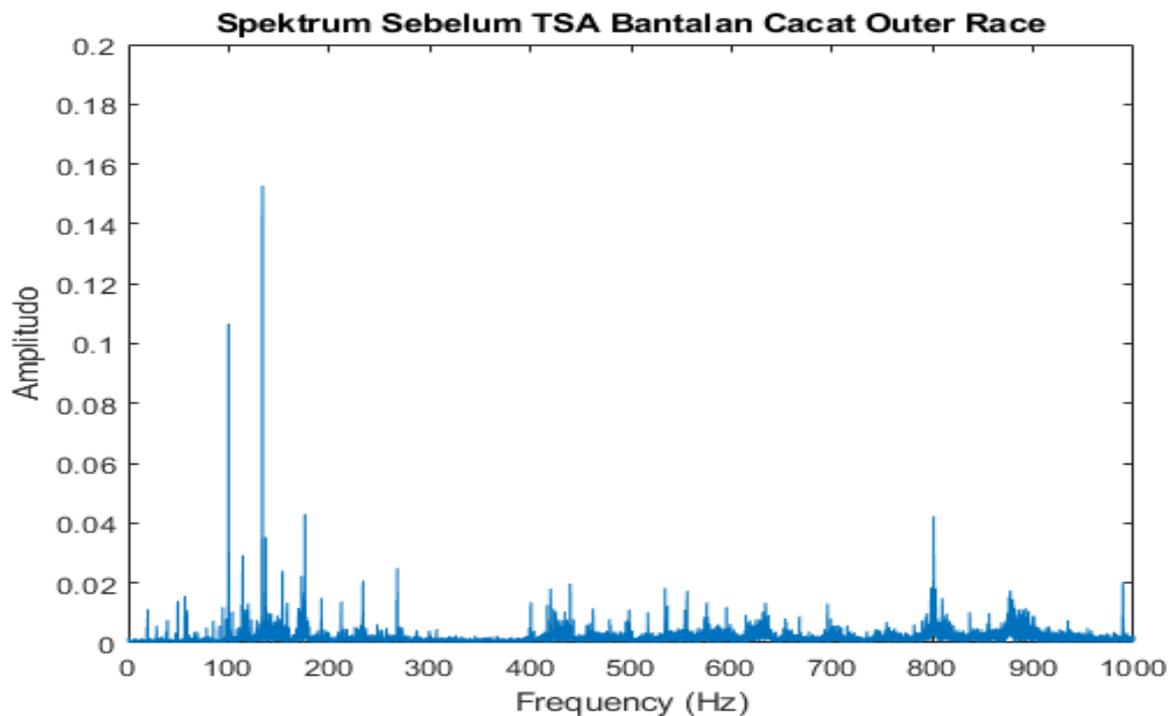
Sinyal getaran ini didapatkan dari hasil pengujian bantalan bola kondisi cacat pada bagian lintasan luar dengan waktu pengambilan 10 detik dan jeda 2 detik dengan *sampling rate* sebesar 17066 Hz. Berikut ini adalah hasil dari plot domain waktu sebelum TSA pada pengujian bantalan bola pada kondisi cacat lintasan luar, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.5 berikut ini.



Gambar 4.5 Plot Domain Waktu Sebelum TSA pada Bantalan Bola Kondisi Cacat Lintasan Luar (*Outer Race*)

4.3.2 Hasil Plot Domain Frekuensi Sebelum TSA

Sinyal getaran ini didapatkan dari hasil pengujian bantalan bola kondisi cacat pada bagian lintasan luar dengan waktu pengambilan 10 detik dan jeda 2 detik dengan *sampling rate* sebesar 17066 Hz. Berikut ini adalah hasil plot domain frekuensi sebelum TSA pada pengujian bantalan bola dengan kondisi cacat lintasan luar seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.6 berikut ini.

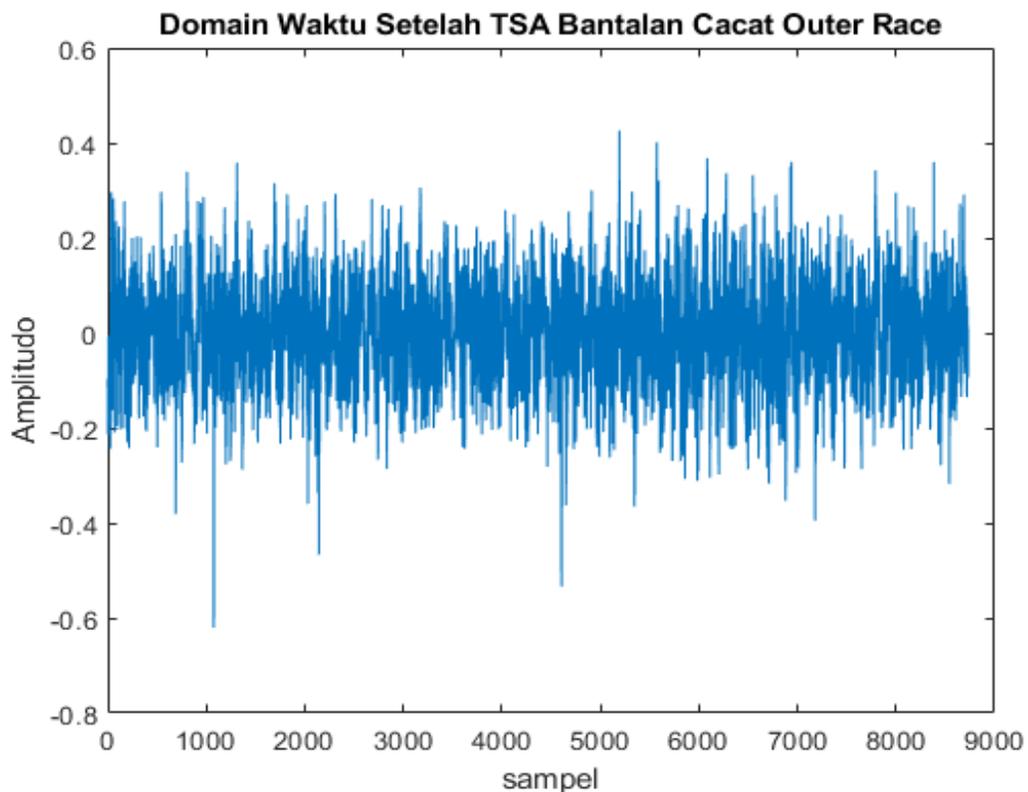


Gambar 4.6 Plot Domain Frekuensi Sebelum TSA pada Bantalan Bola Kondisi Cacat Lintasan Luar (*Outer Race*)

Plot domain frekuensi (spektrum) pada gambar 4.6 tersebut merupakan transformasi (FFT) dari time domain pada gambar 4.5. Grafik pada spectrum ini bisa dilakukan analisis apakah terdapat cacat pada bantalan bola cacat lintasan luar, akan tetapi proses analisis menjadi sulit akibat terdapat banyak *noise* (semacam rumput pada sinyal) yang menutupi frekuensi bantalan bola cacat lintasan luar. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis TSA untuk mereduksi *noise* tersebut.

4.3.3 Hasil Plot Domain Waktu Setelah TSA

Berikut ini adalah bentuk dari hasil plot domain waktu setelah dilakukan TSA pada pengujian bantalan kondisi cacat lintasan luar, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.7 berikut ini.

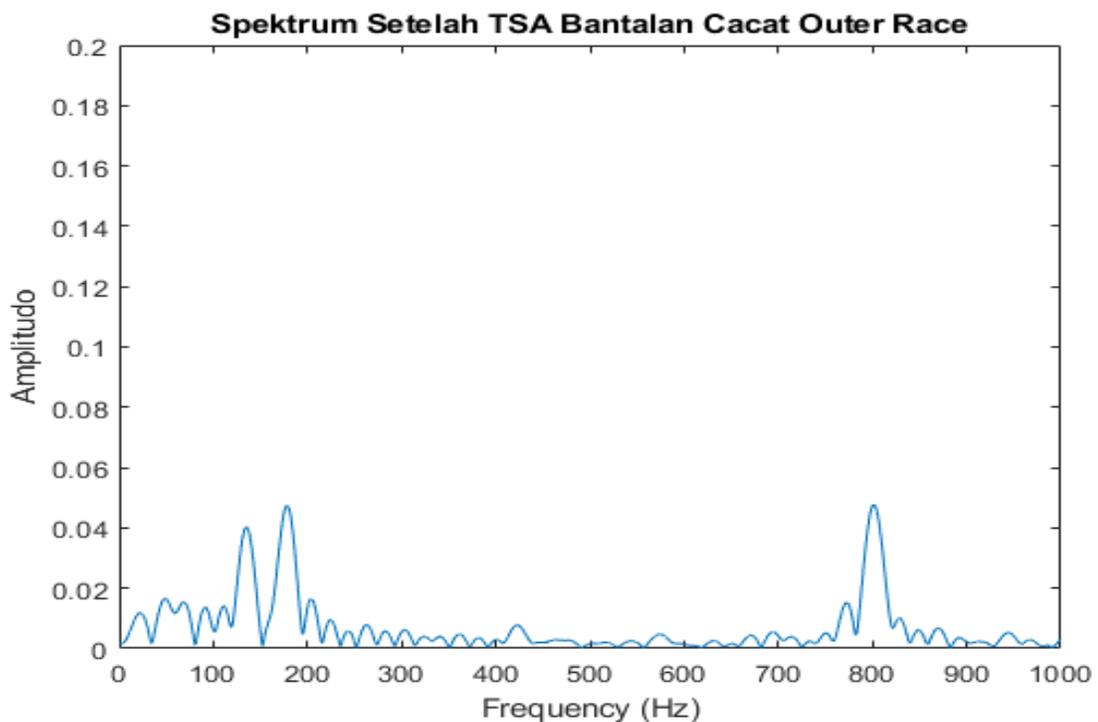


Gambar 4.7 Plot Domain Waktu Setelah TSA pada Bantalan Bola Kondisi Cacat Lintasan Luar (*Outer Race*)

Plot Domain waktu yang telah dilakukan analisis TSA seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.7 diatas dapat memperlihatkan bentuk gelombang asli karena *noise* sudah tereduksi akibat proses dari TSA yang merata-ratakan anantara nilai positif dan negatif pada sebuah sinyal di tempat yang sama.

4.3.4 Hasil Plot Domain Frekuensi Setelah TSA

Berikut ini adalah bentuk dari hasil plot spektrum setelah dilakukan TSA pada pengujian bantalan kondisi cacat lintasan luar, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.8 berikut ini



Gambar 4.8 Plot Domain Frekuensi Setelah TSA pada Bantalan Bola Kondisi Cacat Lintasan Luar (Outer Race)

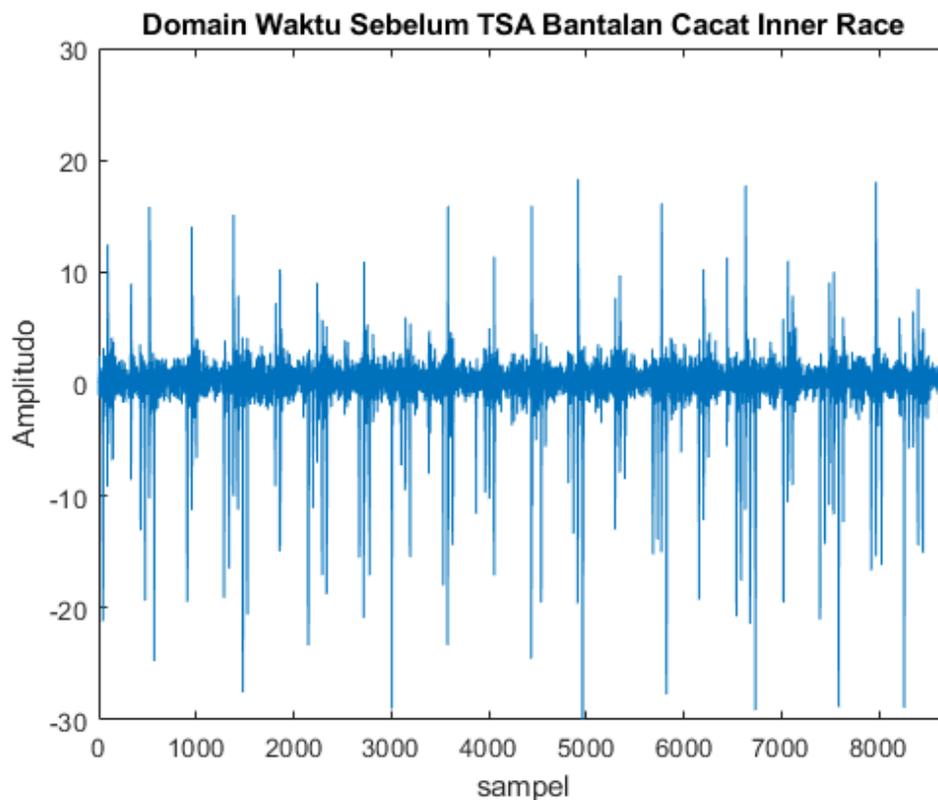
Spektrum yang terbentuk setelah dilakukan proses TSA semakin lebih jelas untuk diidentifikasi apakah banatalan bola tersebut mengalami cacat atau tidak. Metode TSA diyakini efektif dalam proses analisis data karena metode ini mampu mereduksi *noise* yang mengganggu proses analisis sehingga metode TSA diterapkan pada penelitian ini.

4.4 Sinyal Getaran Pada Kondisi Bantalan Cacat Lintasan Dalam

Sinyal getaran yang terdapat pada cacat bantalan bola lintasan dalam (*inner race*) pada *fan* industri dapat ditunjukkan oleh empat grafik plot diantaranya yaitu plot domain waktu sebelum TSA, plot domain waktu setelah TSA, plot domain frekuensi sebelum TSA, dan plot domain frekuensi setelah TSA.

4.4.1 Hasil Plot Domain Waktu Sebelum TSA

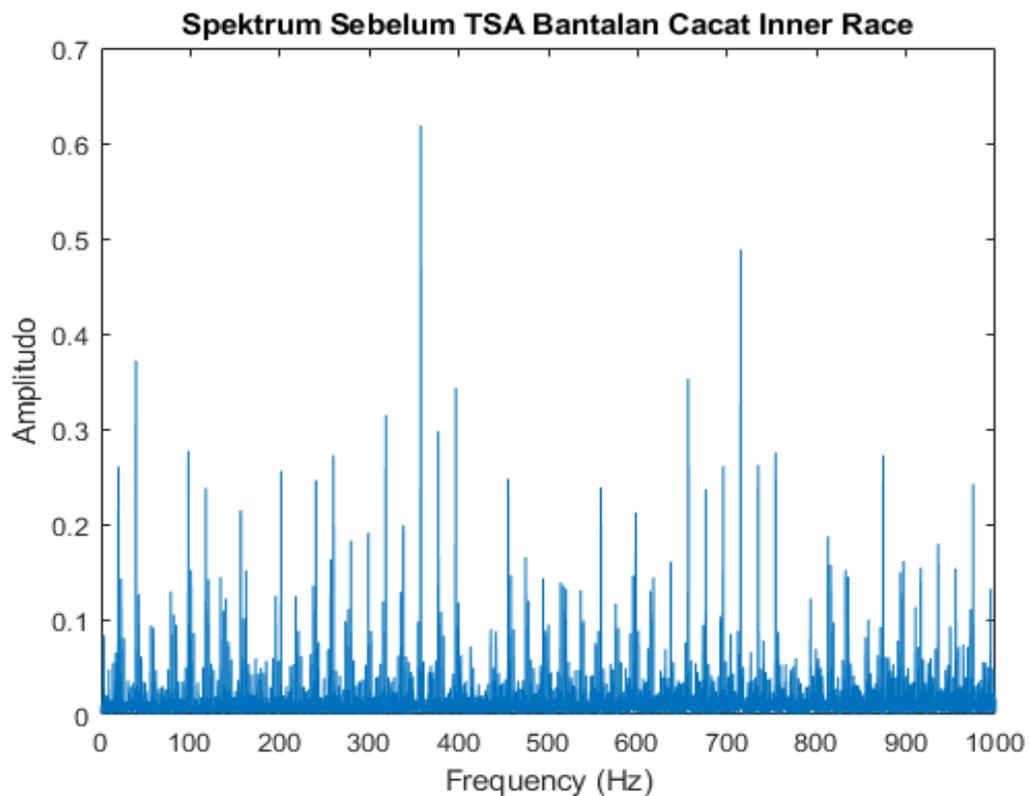
Sinyal getaran ini didapatkan dari hasil pengujian bantalan bola kondisi cacat pada bagian lintasan dalam dengan waktu pengambilan 10 detik dan jeda 2 detik dengan *sampling rate* sebesar 17066 Hz. Berikut ini adalah hasil dari plot domain waktu sebelum TSA pada pengujian bantalan bola pada kondisi cacat lintasan luar, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.9 berikut ini.



Gambar 4.9 Plot Domain Waktu Sebelum TSA pada Bantalan Bola Kondisi Cacat Lintasan Dalam (*Inner Race*)

4.4.2 Hasil Plot Domain Frekuensi Sebelum TSA

Berikut ini adalah hasil plot domain frekuensi sebelum dilakukan TSA pada pengujian kondisi bantalan bola cacat lintasan dalam diambil dengan waktu 10 detik dan jeda 2 detik dengan *sampling rate* sebesar 17066 Hz seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.10 berikut ini.

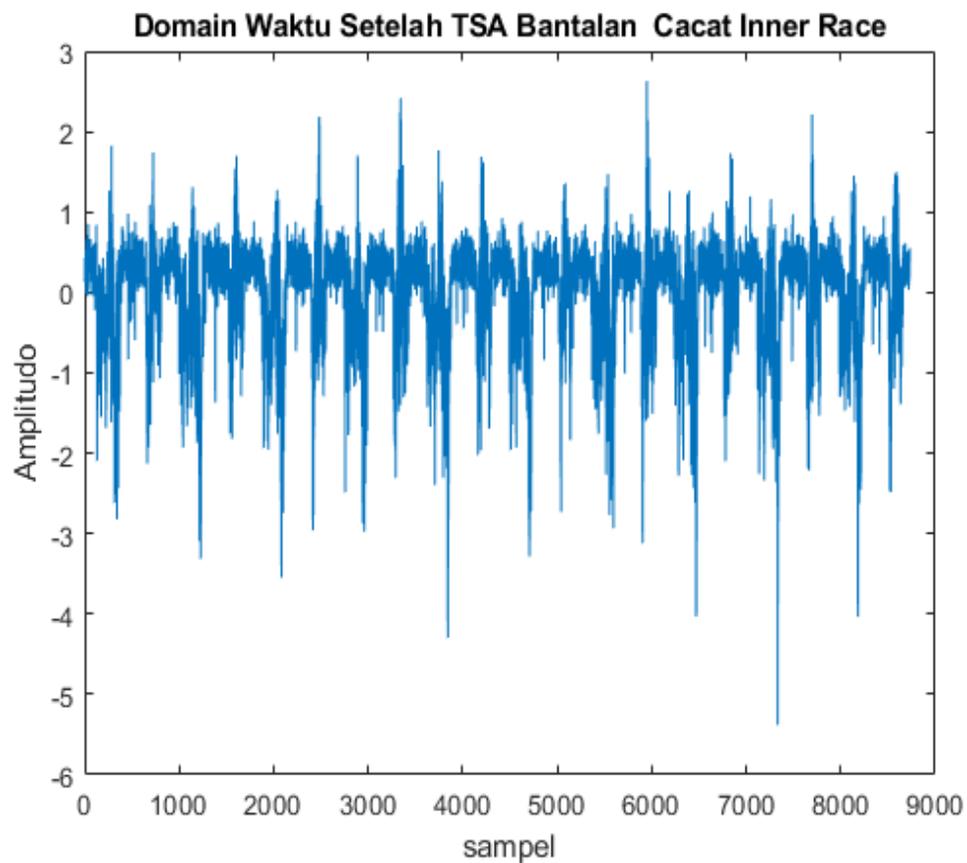


Gambar 4.10 Plot Domain Frekuensi Sebelum TSA pada Bantalan Bola Kondisi Cacat Lintasan Dalam (*Inner Race*)

Plot domain frekuensi (spektrum) pada gambar 4.10 tersebut merupakan transformasi (FFT) dari time domain pada gambar 4.9. Grafik pada spektrum ini bisa dilakukan analisis apakah terdapat cacat pada bantalan bola cacat lintasan dalam, akan tetapi proses analisis menjadi sulit akibat terdapat banyak *noise* (semacam rumput pada sinyal) yang menutupi frekuensi bantalan bola cacat lintasan dalam. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis TSA untuk mereduksi *noise* tersebut.

4.4.3 Hasil Plot Domain waktu Setelah TSA

Berikut ini adalah hasil dari plot domain waktu setelah dilakukan TSA pada pengujian bantalan bola dengan kondisi cacat bagian lintasan dalam yang ditunjukkan pada gambar 4.11 berikut ini.

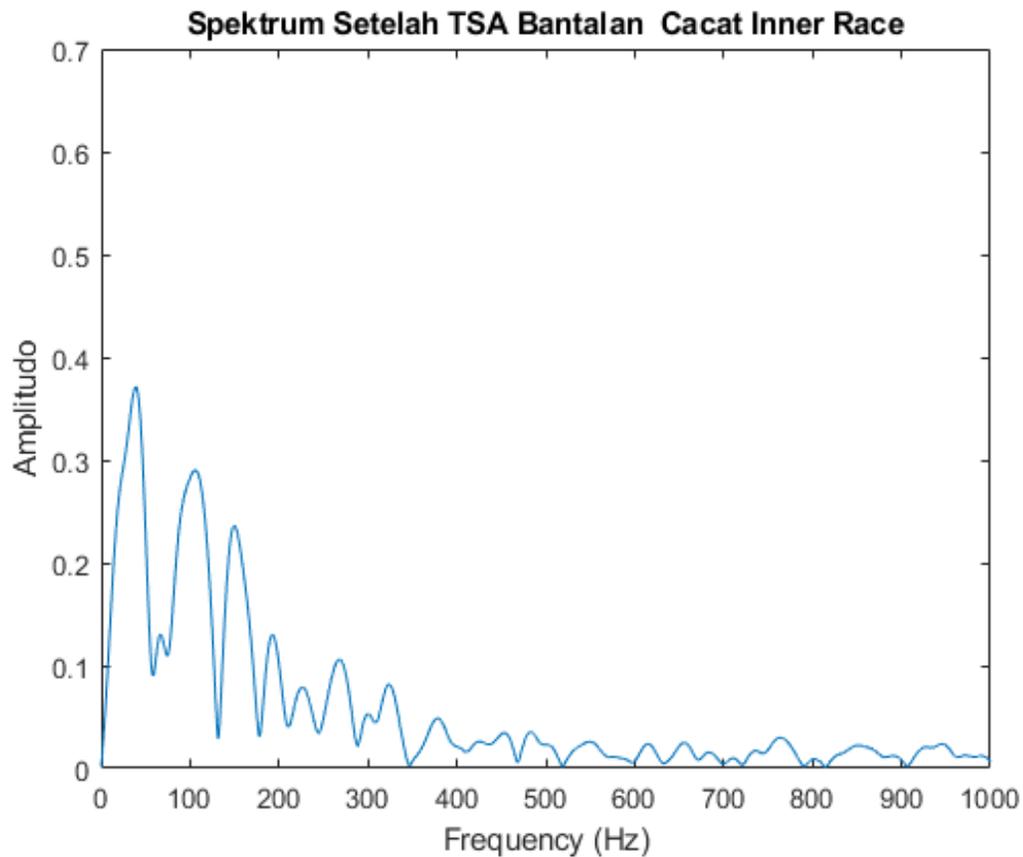


Gambar 4.11 Plot Domain Waktu Setelah TSA pada Bantalan Bola Kondisi Cacat Lintasan Dalam (*Inner Race*)

Plot Domain waktu yang telah dilakukan analisis TSA seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.11 diatas dapat memperlihatkan bentuk gelombang asli karena *noise* sudah tereduksi akibat proses dari TSA yang merata-ratakan antara nilai positif dan negatif pada sebuah sinyal di tempat yang sama.

4.4.4 Hasil Plot Domain Frekuensi Setelah TSA

Berikut ini adalah hasil dari plot spektrum frekuensi setelah TSA pada pengujian bantalan bola dengan kondisi cacat bagian lintasan dalam yang ditunjukkan pada gambar 4.12 berikut ini.

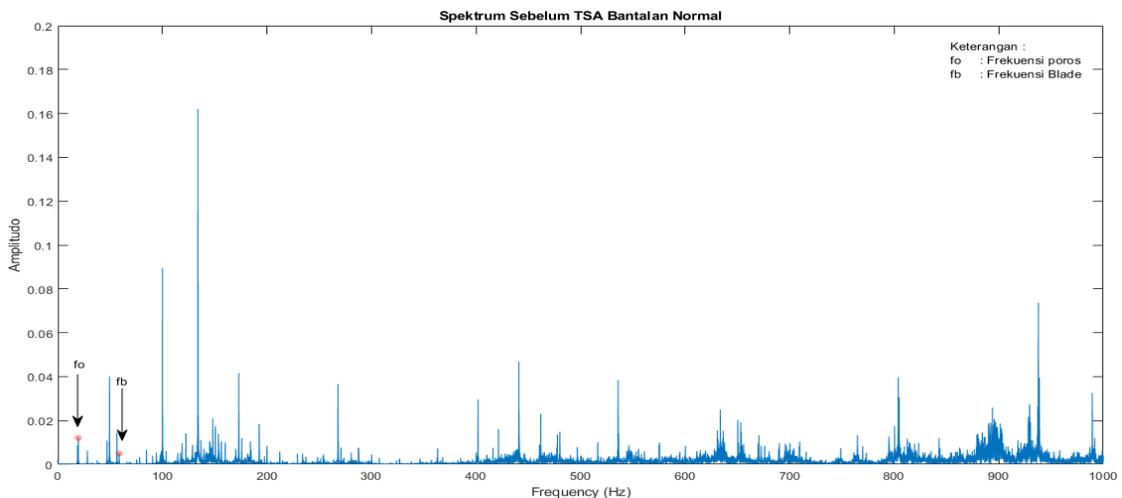


Gambar 4.12 Plot Domain Frekuensi Setelah TSA pada Bantalan Bola Kondisi Cacat Lintasan Dalam (*Inner Race*)

Spektrum yang terbentuk setelah dilakukan proses TSA semakin lebih jelas untuk diidentifikasi apakah banatalan bola tersebut mengalami cacat atau tidak. Metode TSA diyakini efektif dalam proses analisis data karena metode ini mampu mereduksi *noise* yang mengganggu proses analisis sehingga metode TSA diterapkan pada penelitian ini.

4.5 Analisis Spektrum Frekuensi Bantalan Bola Normal

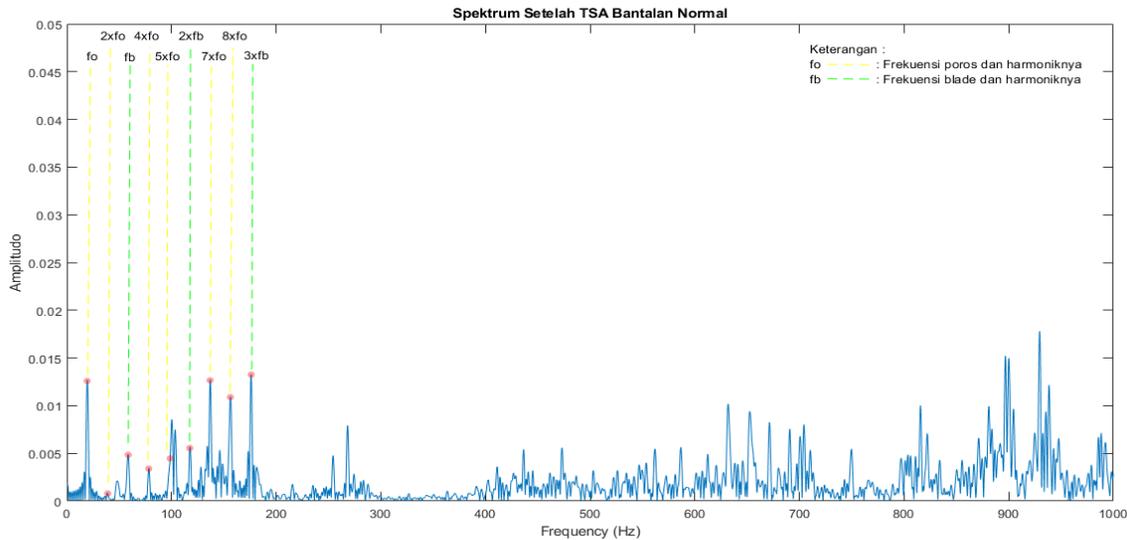
Gambar 4.13 merupakan hasil plot dari domain frekuensi sebelum dilakukan TSA pada bantalan bola kondisi normal. Sinyal yang dihasilkan pada plot domain frekuensi tersebut cenderung masih memiliki banyak noise yang dapat mengganggu proses analisis dan pemantauan kondisi dari sebuah bantalan bola.



Gambar 4.13 Plot Domain Frekuensi sebelum TSA pada bantalan bola kondisi normal (#data ke-3, file ke-5)

Plot domain frekuensi sebelum dilakukan TSA pada gambar 4.13 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 4.14. Noise pada plot domain frekuensi yang dihasilkan setelah dilakukan metode TSA seperti pada gambar 4.14 sudah cukup tereduksi, sehingga proses pemantauan dari kondisi sebuah bantalan bola akan lebih mudah. Dapat dilihat pada gambar 4.14 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

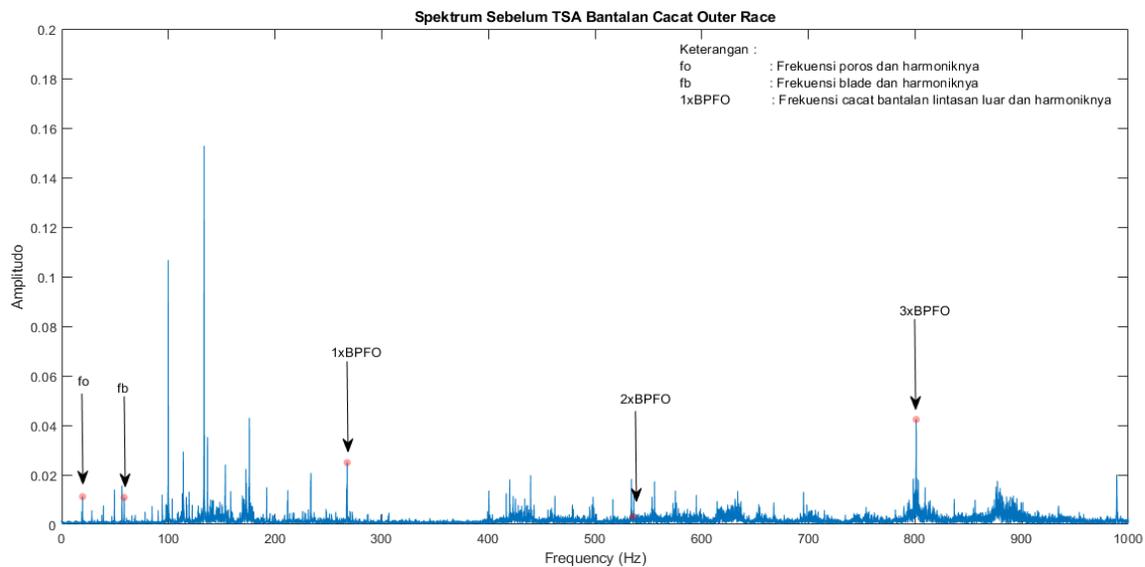
bantalan bola normal tidak terdapat indikasi kerusakan pada bagian *inner race*, *outer race*, *race*, *cage*, dan bolanya.



Gambar 4.14 Plot Domain Frekuensi 10 kali Putaran Poros setelah TSA pada Bantalan Bola Kondisi Normal

4.6 Analisis Spektrum Frekuensi Bantalan Bola Cacat Lintasan Luar

Frekuensi cacat pada bantalan bola lintasan luar telah dibahas pada persamaan 2.2 di bab II. 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 4.15. 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.

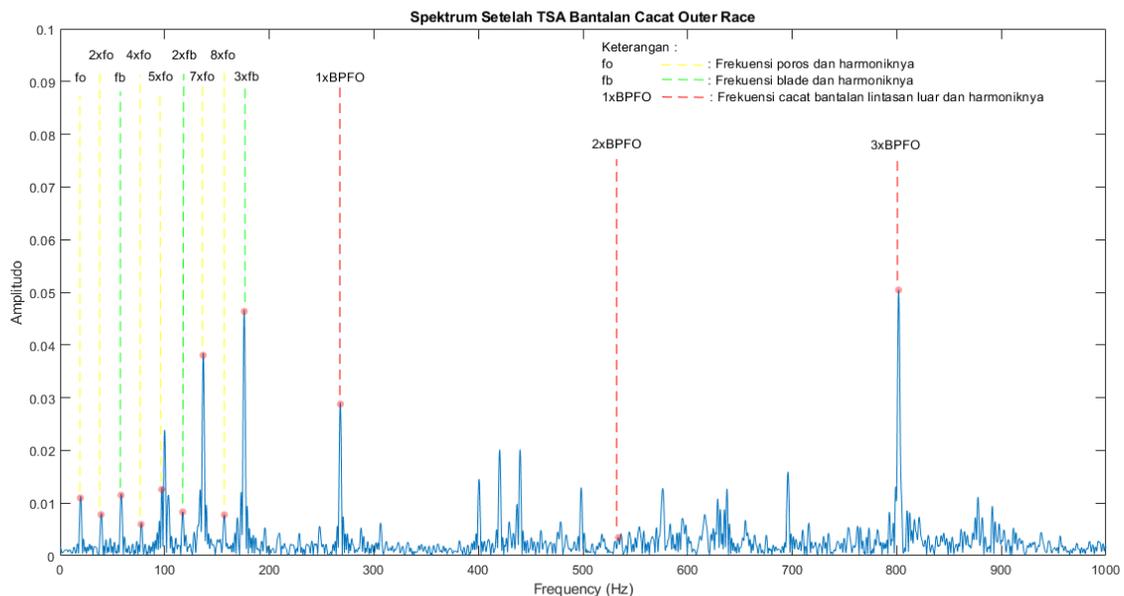


Gambar 4.15 Plot Domain Frekuensi sebelum TSA pada bantalan bola cacat lintasan luar (#data k-1, file ke-5)

Plot spektrum frekuensi pada bantalan bola kondisi cacat lintasan luar seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.15 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 4.16.

Dapat dilihat pada plot spektrum frekuensi setelah dilakukan TSA bantalan bola dengan kondisi cacat bagian lintasan luar seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.16 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 8001,15 Hz sedangkan hasil pengukuran didapat 801,8 Hz dengan nilai amplitudo 0,05.

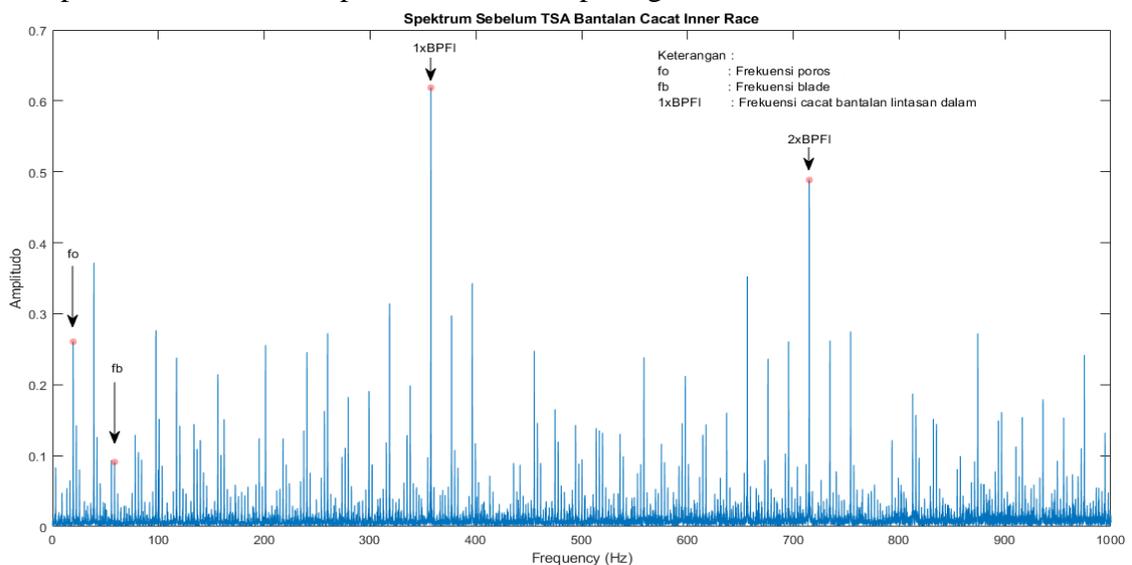


Gambar 4.16 Plot Domain Frekuensi 10 Kali Putaran poros Setelah TSA pada Bantalan Bola Cacat Lintasan Luar

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.

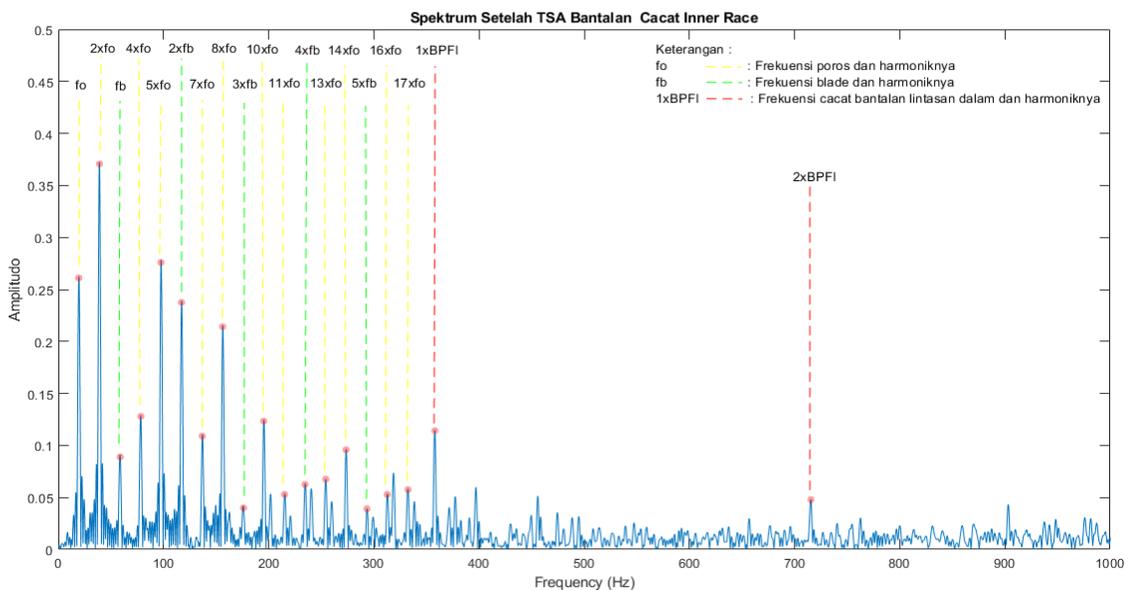
4.7 Analisis Spektrum Frekuensi Bantalan Bola Cacat lintasan Dalam

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 2.1 pada bab II. 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 4.17.



Gambar 4.17 Plot Domain Frekuensi sebelum TSA pada Bantalan Bola Cacat Lintasan Dalam (data ke-7, file ke-5)

Plot spektrum frekuensi bantalan bola cacat lintasan dalam seperti pada gambar 4.17 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 4.18 merupakan plot spektrum frekuensi cacat bantalan bola lintasan dalam setelah dilakukan TSA. Gambar 4.18 tidak berbeda jauh dengan gambar 4.17, hanya yang membedakan noise pada gambar 4.18 sudah tereduksi. Pada gambar 4.18 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 4.18 tersebut.



Gambar 4.18 Plot Domain Frekuensi 10 Kali Putaran Poros setelah TSA pada Bantalan Bola Cacat Lintasan Dalam (Inner Race)

Frekuensi cacat pada bantalan bola bagian lintasan dalam dapat dilihat menggunakan rumus perhitungan BPF_I yang telah dibahas pada bab II pada persamaan 2.1. Hasil frekuensi yang diperoleh dari pengukuran cacat bantalan bola *inner race* 1xBPF_I 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 BPF_I diperoleh sebesar 715,8 Hz sedangkan hasil pengukuran yang didapat pada plot grafik pada gambar 4.18 yaitu sebesar 715,5 Hz dengan nilai amplitudo 0,048.

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.