



TESIS - TE142599

# ANALISA PEMILIHAN FILTER WAVELET PADA MOTOR INDUKSI TIGA FASA UNTUK DETEKSI KETIDAKSEIMBANGAN CELAH UDARA

RESTU MUKTI UTOMO  
07111550010001

DOSEN PEMBIMBING  
Dr. Eng I Made Yulistya Negara, S.T., M.Sc.  
Dr. Dimas Anton Asfani, S.T., M.T.

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM PENGATURAN  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018





TESIS - TE142599

**ANALISA PEMILIHAN FILTER WAVELET PADA  
MOTOR INDUKSI TIGA FASA UNTUK DETEKSI  
KETIDAKSEIMBANGAN CELAH UDARA**

RESTU MUKTI UTOMO  
07111550010001

DOSEN PEMBIMBING  
Dr. Eng I Made Yulistya Negara, S.T., M.Sc.  
Dr. Dimas Anton Asfani, S.T., M.T.

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM PENGATURAN  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018



## LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (M.T)  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Restu Mukti Utomo  
NRP. 07111550010001

Tanggal Ujian : 09 Juli 2018  
Periode Wisuda : September 2018

Disetujui oleh:

1. Dr. Eng I Made Yulistya Negara, S.T., M.Sc (Pembimbing I)  
NIP: 197007121998021001

2. Dr. Dimas Anton Asfani, S.T., M.T. (Pembimbing II)  
NIP: 198109052005011002

3. Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D (Penguji)  
NIP: 197311192000031001

4. Dr. Ir. Soedibyo, MMT. (Penguji)  
NIP: 195512071980031004

5. Dr. Dimas Fajar Uman Putra, S.T., M.T. (Penguji)  
NIP: 198811082012121001

Dekan Fakultas Teknologi Elektro  
Dr. Tri Arief Sardjono, S.T., M.T.  
NIP. 197002121995121001

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tesis saya dengan judul **“ANALISA PEMILIHAN FILTER WAVELET PADA MOTOR INDUKSI TIGA FASA UNTUK DETEKSI KETIDAKSEIMBANGAN CELAH UDARA”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Mei 2018



Restu Mukti Utomo

NRP.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **Analisa Pemilihan Filter Wavelet pada Motor Induksi Tiga Fasa untuk Deteksi Ketidakseimbangan Celah Udara**

Nama mahasiswa : Restu Mukti Utomo  
NRP : 07111550010001  
Pembimbing : 1. Dr.Eng.I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc  
2. Dr. Dimas Anton Asfani, ST.,MT

### **ABSTRAK**

Motor induksi tiga fasa merupakan mesin listrik yang mengkonversi energi listrik menjadi energi mekanik. Motor induksi sangat banyak digunakan pada dunia industri dikarenakan kehandalan, konstruksinya yang sederhana dan perawatannya yang mudah. Untuk menjaga suatu produksi secara kontinyu yang kebanyakan prosesnya ditunjang oleh motor induksi maka harus dijaga kondisinya tetap prima sehingga kerusakan-kerusakan dapat dihindari serta menjadikan umur peralatan tersebut menjadi lebih lama. Salah satu kerusakan pada motor induksi adalah *air gap eccentricity* ( ketidakseimbangan celah udara ) yang apabila tidak terdeteksi maka akan menyebabkan gesekan antara rotor dan stator. Untuk itu diperlukan metode untuk pendeteksian lebih dini. Penelitian ini menggunakan metode wavelet. Jenis wavelet *families* yang digunakan ada 3 yaitu *haar*, *daubechies* dan *symlet* , diperlukan 3 wavelet untuk dapat mengetahui filter wavelet mana yang dapat lebih baik untuk mendeteksi kerusakan motor. Pada wavelet haar tingkat keberhasilan detail ke 1 sampai detail ke 4 sebesar 10%. Untuk wavelet daubechies tingkat perentase keberhasilan yaitu pada detail ke 1 sebesar 70%, detail ke 2 dan detail ke 4 sebesar 20% serta detail ke 3 sebesar 30%. Sedangkan untuk wavelet symlets tingkat persentase keberhasilan pada detail ke 1 sebesar 80%, detail ke 2 sebesar 70%, detail ke 3 sebesar 30% dan detail ke 4 sebesar 10%. Sehingga untuk filter wavelet jenis haar tingkat persentase keberhasilan deteksi sangat rendah dibandingkan dengan filter wavelet jenis daubechies dan symlets.

**Kata kunci:** *Motor Induksi, Arus, airgap eccentricity , dan wavelet.*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **Wavelet Filter Selection Analysis on Three-phase Induction Motor in Detection of Air Gap Eccentricity**

By : Restu Mukti Utomo  
Student Identity Number :  
Supervisors : 1. Dr.Eng.I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc  
2. Dr. Dimas Anton Asfani, ST.,MT

### ***ABSTRACT***

Three-phase induction motors are electrical machines that convert electrical energy into mechanical energy. Induction motors are widely used in the industrial world due to reliability, simple construction and easy maintenance. To maintain a continuous production that most of the process is supported by an induction motor it must be kept in good condition so that the damage can be avoided and make the equipment ages become longer. One of the damage to the induction motor is the water gap eccentricity which, if not detected, will cause friction between the rotor and the stator. For that needed a method for early detection. This research uses wavelet method. The type of wavelet families used there are 3. Wavelet families is haar, daubechies and symlets, it takes 3 wavelets to know which wavelet filter can better to detection air gap eccentricity. In the haar wavelet the success rate of d1 (detail), d4 by 10%. For daubechies wavelet the percentage of success is in d1 by 70%, d2 and d4 by 20% and d3 by 30%. While for wavelet symlets the percentage of success in d1 is 80%, d2 is 70%, d3 is 30% and d4 is 10%. So for the type wavelet filter is haar the percentage of detection success rate is very low compared to the wavelet filters of daubechies and symlets.

Keywords—*Induction motor, air gap eccentricity, current, wavelet.*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT karena atas limpahan karunia rahmat-Nya sehingga karya akhir yang berjudul “Analisa Pemilihan Filter Wavelet pada Motor Induksi Tiga Fasa untuk Deteksi Ketidakseimbangan Celah Udara” ini dapat terselesaikan dengan baik. Untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Prof. Ir. Joni Hermana M.Sc.ES., Ph.D., selaku Rektor Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya,
2. Bapak Dr. Tri Arief Sardjono, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknologi Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember,
3. Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng., selaku Kepala Departemen Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember,
4. Bapak Dr. I Made Yulistya Negara, S.T, M.Sc dan Bapak Dr. Dimas Anton Asfani, S.T, M.T selaku dosen pembimbing tesis saya atas kesediaan dan kesabarannya dalam memberikan bimbingan dan ilmu pada penulis,
5. Para dosen dan karyawan Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang banyak membantu dalam proses perkuliahan,
6. Seluruh keluarga besar saya, Papa, Mama, Adek atas segala doa dan dukungan yang diberikan,
7. Teman-teman Teknik Sistem Tenaga ITS 2015 (Rani-Makassar, Belly-sumenep, Abi-sidoarjo, Daeng-pamekasan, Ina-madiun, Eva-bengkalis, Ari-pamekasan, Pak samsudin-sidoarjo, Samudra-surabaya, Fajar-lamongan, Om hedi-sampang dan Thoeurn Muy-camboja) atas kebersamaan selama ini.

Akhir kata, segala kritik dan saran penulis perlukan demi penyempurnaan karya akhir ini, dan semoga karya akhir ini bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, Mei 2018

Penulis

Restu Mukti Utomo

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**BAB 1 Table of Contents****DAFTAR ISI**

LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS .....	v
<i>ABSTRACT</i> .....	ix
KATA PENGANTAR .....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	5
2.1 Motor Induksi .....	5
<b>2.1.1 Prinsip Kerja Motor Induksi</b> .....	6
2.2. Celah Udara Eksentrisitas.....	6
2.3. Transformasi Wavelet .....	8
2.3.1 Transformasi Wavelet Kontinue .....	8
2.3.2 Transformasi Wavelet Diskrit .....	9
2.3.2.1 <i>Haar</i> .....	11
2.3.2.2 <i>Daubechies wavelets (db)</i> .....	11
2.3.2.3 Symlets.....	12
2.4 <i>Signal Energy and Power</i> .....	12
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	15
3.1 STUDI LITERATUR .....	15
3.2 KONFIGURASI SISTEM.....	15
3.3 PROSES PENGAMBILAN DATA .....	18
3.4 REKONTRUKSI EKSENTRISITAS CELAH UDARA.....	19

3.5 DIAGRAM ALIR PENELITIAN.....	21
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....	23
4.1 Pengolahan Sinyal Arus Menggunakan Metode Wavelet.....	23
4.2 Pengujian sinyal dengan Metode Wavelet Haar.....	24
4.2.1 Pengujian arus stator motor pada beban 0% .....	24
4.2.2 Pengujian arus stator pada beban 25% .....	27
4.2.3 Pengujian Arus Stator pada Beban 50% .....	30
4.2.4 Pengujian Arus Stator Motor pada beban 75% .....	32
4.2.5 Pengujian Arus Stator Motor pada Beban 100% .....	35
4.3 Pengujian Sinyal Menggunakan Metode wavelet <i>daubechies</i> (db).....	39
4.3.1 Pengujian Arus Stator Pada Beban 0% .....	40
4.3.2 Pengujian Arus Stator pada Beban 25% .....	43
4.3.3 Pengujian Arus Stator Motor pada beban 50% .....	45
4.3.4 Pengujian Arus Stator Motor pada beban 75% .....	48
4.3.5 Pengujian Arus Stator Motor pada Beban 100% .....	50
4.4 Pengujian Sinyal Menggunakan Metode wavelet <i>Symlets</i> (sym).....	54
4.4.1 Pengujian Arus Stator motor pada beban 0% .....	55
4.4.2 Pengujian Arus Stator Motor pada Beban 25% .....	57
4.4.3 Pengujian Arus Stator pada Beban 50% .....	59
4.4.4 Pengujian Arus Stator Motor pada Beban 75% .....	61
4.4.5 Pengujian Sinyal Arus Stator pada Beban 100%.....	63
BAB 5 PENUTUP .....	69
5.1 Kesimpulan.....	69
5.2 Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA.....	71
LAMPIRAN .....	73
DAFTAR INDEX.....	75

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Motor induksi dan stator motor beserta belitannya .....	5
Gambar 2.2 Eksentrisitas, a. Motor normal, b. Eksentrisitas Statis, c. Dinamik eksentrisitas [8] .....	7
Gambar 2.3 Wavelet Mexican Hat .....	9
Gambar 2.4 Proses Dekomposisi Wavelet a. Filtering, b. Filtering and down sampling, c. Decomposition [9] .....	10
Gambar 2.5 wavelet function [9] .....	11
Gambar 2.6 db wavelet function [9] .....	12
Gambar 2.7 sym wavelet function .....	12
Gambar 3.1 Konfigurasi sistem.....	16
Gambar 3.2 alat akuisisi data type NI-DAQ 9246 .....	18
Gambar 3.3 percobaan sistem deteksi kerusakan motor akibat eksentrisitas.....	19
Gambar 3.4 Bearing dalam keadaan normal .....	19
Gambar 3.5 Ring dengan ketebalan diameter dalam bergeser 0,1mm.....	20
Gambar 3.6 ring dengan ketebalan diameter dalam bergeser 0,2mm .....	20
Gambar 3.7 skema eksentrisitas celah udara.....	21
Gambar 3.8 diagram alir untuk melakukan eksperimen motor induksi tiga fasa dengan ketidak-simetrisan celah udara .....	21
Gambar 4.1 dekomposisi signal wavelet haar arus stator tanpa beban (a) kondisi motor normal, (b) kondisi motor eksentriistas 0,1 mm, (c) kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm .....	25
Gambar 4.2 dekomposisi sinyal wavelet haar arus stator pada beban 25% (a) kondisi motor normal, (b) kondisi motor eksentriistas 0,1 mm, (c) kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm .....	28
Gambar 4.3 dekomposisi sinyal wavelet haar arus stator pada beban 50% (a) kondisi motor normal, (b) kondisi motor eksentriistas 0,1 mm, (c) kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm .....	31
Gambar 4.4 dekomposisi sinyal wavelet haar arus stator pada beban 75% (a) kondisi motor normal, (b) kondisi motor eksentriistas 0,1 mm, (c) kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm .....	33
Gambar 4.5 dekomposisi sinyal wavelet haar arus stator pada beban 100% (a) kondisi motor normal, (b) kondisi motor eksentriistas 0,1 mm, (c) kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm .....	36
Gambar 4.6 dekomposisi sinyal wavelet db arus stator pada beban 0% (a) kondisi motor normal, (b) kondisi motor eksentriistas 0,1 mm, (c) kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm .....	41
Gambar 4.7 dekomposisi sinyal wavelet db arus stator pada beban 25% (a) kondisi motor normal, (b) kondisi motor eksentriistas 0,1 mm, (c) kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm .....	44

Gambar 4.8 dekomposisi sinyal wavelet db arus stator pada beban 50% (a)	
kondisi motor normal, (b) kondisi motor eksentriistas 0,1 mm, (c)	
kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm.....	46
Gambar 4.9 dekomposisi sinyal wavelet db arus stator pada beban 75% (a)	
kondisi motor normal, (b) kondisi motor eksentriistas 0,1 mm, (c)	
kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm.....	49
Gambar 4.10 dekomposisi sinyal wavelet db arus stator pada beban 100% (a)	
kondisi motor normal, (b) kondisi motor eksentriistas 0,1 mm, (c)	
kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm.....	51
Gambar 4.11 dekomposisi sinyal wavelet sym arus stator pada beban 0% (a)	
kondisi motor normal, (b) kondisi motor eksentriistas 0,1 mm, (c)	
kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm.....	56
Gambar 4.12 dekomposisi sinyal wavelet sym arus stator pada beban 25% (a)	
kondisi motor normal, (b) kondisi motor eksentriistas 0,1 mm, (c)	
kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm.....	58
Gambar 4.13 dekomposisi sinyal wavelet sym arus stator pada beban 50% (a)	
kondisi motor normal, (b) kondisi motor eksentriistas 0,1 mm, (c)	
kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm.....	60
Gambar 4.14 dekomposisi sinyal wavelet sym arus stator pada beban 75% (a)	
kondisi motor normal, (b) kondisi motor eksentriistas 0,1 mm, (c)	
kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm.....	62
Gambar 4.15 dekomposisi sinyal wavelet sym arus stator pada beban 100% (a)	
kondisi motor normal, (b) kondisi motor eksentriistas 0,1 mm, (c)	
kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm.....	64
Gambar 4.16 Grafik tingkat persentase keberhasilan deteksi eksentrisitas celah	
udara dengan menggunakan metode wavelet haar, daubechies dan	
symlets.....	68

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data Motor Induksi Tiga Fasa .....	16
Tabel 3.2 Data Generator Sinkron .....	16
Tabel 3.3 Data DAQ .....	17
Tabel 4.1 Persentase pembebanan pada motor induksi.....	23
Tabel 4.2 Daya Rata-Rata sinyal wavelet haar pada beban 0 % .....	26
Tabel 4.3 Daya Rata-Rata wavelet haar dengan Irms pada beban 0%.....	27
Tabel 4.4 Daya Rata-Rata sinyal wavelet haar pada beban 25% .....	29
Tabel 4.5 Daya Rata-Rata wavelet haar dengan Irms pada beban 25%.....	29
Tabel 4.6 Daya Rata-Rata sinyal wavelet haar pada beban 50% .....	31
Tabel 4.7 Daya Rata-Rata wavelet haar dengan Irms pada beban 50%.....	32
Tabel 4.8 Daya Rata-Rata sinyal wavelet haar pada beban 75% .....	34
Tabel 4.9 Daya Rata-Rata wavelet haar dengan Irms pada beban 75%.....	34
Tabel 4.10 Daya Rata-Rata sinyal wavelet haar pada beban 100% .....	36
Tabel 4.11 Daya Rata-Rata wavelet haar dengan Irms pada beban 100%.....	37
Tabel 4.12 Perbandingan nilai normalisasi daya rata-rata dengan dekomposisi wavelet haar .....	38
Tabel 4.13 Daya Rata-Rata sinyal wavelet daubechies pada beban 0% .....	41
Tabel 4.14 Daya Rata-Rata wavelet daubechies dengan Irms pada beban 0% ....	42
Tabel 4.15 Daya Rata-Rata sinyal wavelet daubechies pada beban 25% .....	44
Tabel 4.16 Daya Rata-Rata wavelet daubechies dengan Irms pada beban 25% ...	45
Tabel 4.17 Daya Rata-Rata sinyal wavelet daubechies pada beban 50% .....	47
Tabel 4.18 Daya Rata-Rata wavelet daubechies dengan Irms pada beban 50% ...	47
Tabel 4.19 Daya Rata-Rata sinyal wavelet daubechies pada beban 75% .....	49
Tabel 4.20 Daya Rata-Rata wavelet daubechies dengan Irms pada beban 75% ...	50
Tabel 4.21 Daya Rata-Rata sinyal wavelet daubechies pada beban 100% .....	52
Tabel 4.22 Daya Rata-Rata wavelet daubechies dengan Irms pada beban 100% .	52
Tabel 4.23 Perbandingan nilai normalisasi daya rata-rata dengan dekomposisi wavelet deubeches.....	54
Tabel 4.24 Daya Rata-Rata sinyal wavelet sym pada beban 0% .....	57
Tabel 4.25 Daya Rata-Rata wavelet sym dengan Irms pada beban 0% .....	57
Tabel 4.26 Daya Rata-Rata sinyal wavelet sym pada beban 25% .....	59
Tabel 4.27 Daya Rata-Rata wavelet sym dengan Irms pada beban 25% .....	59
Tabel 4.28 Daya Rata-Rata sinyal wavelet sym pada beban 50% .....	61
Tabel 4.29 Daya Rata-Rata wavelet sym dengan Irms pada beban 50% .....	61
Tabel 4.30 Daya Rata-Rata sinyal wavelet sym pada beban 75% .....	63
Tabel 4.31 Daya Rata-Rata wavelet sym dengan Irms pada beban 75% .....	63
Tabel 4.32 Daya Rata-Rata sinyal wavelet sym pada beban 100% .....	65
Tabel 4.33 Daya Rata-Rata wavelet dengan Irms pada beban 100% .....	65
Tabel 4.34 Perbandingan nilai normalisasi daya rata-rata dengan dekomposisi wavelet symlets .....	67

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada dunia industri, motor listrik memiliki peranan yang sangat penting untuk menunjang produksi pada suatu perusahaan. Motor induksi memiliki konstruksi yang sederhana, kokoh dan harganya relatif murah[1]. Untuk menjaga suatu produksi secara kontinyu yang kebanyakan prosesnya ditunjang oleh motor induksi maka harus dijaga kondisinya tetap prima sehingga kerusakan-kerusakan dapat dihindari serta menjadikan umur peralatan tersebut menjadi lebih lama. Kerusakan yang diakibatkan oleh motor induksi tidak hanya berdampak pada terhentinya proses produksi namun juga akan berdampak pada lingkungan sekitarnya serta dapat membahayakan pekerja. Untuk menghindari hal tersebut perlu dilakukan pengawasan serta pengecekan secara rutin sehingga dapat mengetahui kondisi motor induksi tersebut, dengan begitu tingkat kerusakan dapat cepat terdeteksi.

Umumnya kerusakan yang terjadi pada motor induksi terletak pada bagian stator dan rotor seperti ausnya bearing, kegagalan isolasi, serta kerusakan akibat ketidakseimbangan celah udara yang ditimbulkan ketidakselarasan poros. Ketidakseimbangan celah udara yang ditimbulkan ketidakselarasan poros mengakibatkan daya tarik magnetik yang tidak seimbang antara stator dan rotor sehingga akan mengakibatkan terjadinya gesekan diantara keduanya apabila hal tersebut tidak segera diatasi. Maka dibutuhkan suatu peralatan yang dapat mendeteksi ketidakseimbangan sela udara pada motor induksi supaya dapat mencegah kerusakan serta memperpanjang usia motor induksi tersebut sehingga biaya yang ditimbulkan akibat kerusakan tidak sangat besar.

Menurut M'hamed Drif (2006), penggunaan analisis *signature* dari daya semu yang kompleks sebagai teknik baru untuk mendiagnosa kondisi dari *airgap* eksentrisitas campuran dalam mengoperasikan motor induksi tiga fasa sangkar-tupai. Pertama, sebuah studi pemodelan dan simulasi mengenai terjadinya *airgap*

eksentrisitas di motor induksi tiga fase. Untuk itu, melakukan pendekatan dengan persamaan-persamaan yang ada. Kemudian mensimulasi dan hasil eksperimen disajikan untuk menggambarkan efektivitas dari pendekatan yang diusulkan. Dan digabungkan dengan beberapa faktor dari kesalahan motor, ini juga diusulkan sebagai indikator kondisi mesin [1]. Yudistiawan (2009), Salah satu metode yang digunakan untuk menganalisa kerusakan pada motor adalah *current signature analysis*. Sinyal arus motor dideteksi dengan *current transducer*, dilewatkan pada *signal conditioning* kemudian akuisi data dan dianalisa oleh komputer dengan menggunakan metode *Fast Fourier Transform* (FFT)[2]. Ishkova(2015), Pendeteksian kesalahan dan klasifikasi menggunakan *motor current signature analysis* (MCSA) dan pemantauan kepadatan fluks magnetik di celah udara mesin, simulasi pada motor induksi tiga fasa sangkar dilakukan dalam kondisi kesalahan yang berbeda, seperti statis, dinamis dan campuran eksentrisitas dan bar rotor rusak. Penelitian ini difokuskan pada MCSA dan pemantauan kepadatan fluks magnetik di celah udara. Hal itu dilakukan dengan menggunakan ANSYS Maxwell dan software MatLab. Hal itu menunjukkan bahwa kehadiran dari kesalahan dan hasil yang tercantum dalam dari frekuensi karakteristik yang terletak di sekitar yang fundamental serta munculnya harmonisa slot yang utama. Hal ini menunjukkan bahwa spektrum dari model bar rotor yang rusak mengandung frekuensi yang berkaitan dengan kesalahan eksentrisitas yang mengakibatkan kesulitan dalam dua kesalahan yaitu dalam kasus spektrum kerapatan fluks magnetik masalah ini lebih signifikan. Tapi dalam kasus pemeriksaan dari rusak rotor bar terkait frekuensi, terlihat bahwa spektrum dari model yang memiliki kesalahan eksentrisitas tidak mengandung frekuensi yang merupakan ciri khas yang merupakan kerusakan rotor bar [3].

Dari studi literatur yang dikumpulkan, peneliti bermaksud melakukan eksperimen terhadap motor induksi tiga fasa untuk deteksi ketidakseimbangan *airgap* dengan menggunakan beban elektrik yang bervariasi. Penelitian ini difokuskan hanya untuk eksentrisitas statis dan menggunakan *current signature analysis* kemudian diolah lagi dengan beberapa metode *transformasi wavelet*.

Kontribusi untuk penelitian ini yaitu menganalisis pemilihan filter *wavelet* yang akan digunakan dalam mendeteksi eksentrisitas *airgap* pada motor induksi tiga fasa, kemudian menggunakan beban yang bervariasi. Dan akan membandingkan beberapa filter *wavelet* yang nantinya mempunyai hasil yang lebih baik.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah :

1. Teknik atau cara untuk mendeteksi kerusakan motor induksi yang diakibatkan oleh *airgap eccentricity* ialah berbasis *Wavelet Transform*
2. Perlu variasi pembebanan untuk masing-masing kondisi motor induksi agar metode pendeteksian dapat diaplikasikan untuk seluruh keadaan

## **1.3 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah yang akan dibatasi yaitu pengujian yang akan dilakukan pada saat kondisi motor induksi dalam keadaan *steady state*.

## **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendeteksi kerusakan motor induksi akibat *airgap eccentricity* melalui analisa metode wavelet pada arus stator sehingga dapat mencegah terjadinya kerusakan yang lebih parah.

## **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat diaplikasikan sebagai metoda pendeteksian kerusakan motor induksi tiga fasa yang diakibatkan oleh *airgap eccentricity* serta menginspirasi untuk penelitian selanjutnya.

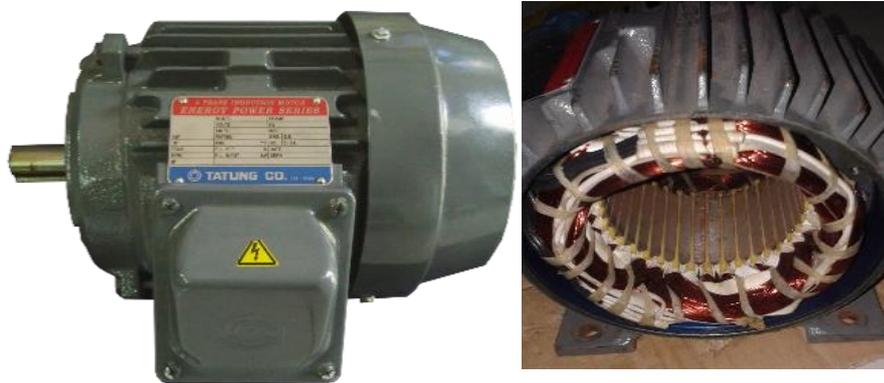
**\*\*\*Halaman ini sengaja dikosongkan\*\*\***

## BAB 2

### KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Motor Induksi

Motor induksi tiga fasa merupakan mesin listrik arus bolak balik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik melalui prinsip induksi. Motor induksi sangat banyak digunakan pada industri maupun rumah tangga. Motor induksi yang umum digunakan adalah motor induksi tiga fasa dan satu fasa. Alasan digunakannya motor induksi ialah karena keandalannya yang tinggi serta biaya yang relatif murah.



Gambar 2.1 Motor induksi dan stator motor beserta belitannya

Berdasarkan konstruksinya, motor induksi dibedakan menjadi dua jenis yaitu motor induksi rotor sangkar tupai (*squirrel cage rotor*) dan motor induksi rotor lilit (*wound rotor*). Motor induksi rotor sangkar tupai lebih banyak digunakan daripada jenis rotor lilit, sebab rotor sangkar tupai mempunyai bentuk dan pengoperasian yang sederhana. Belitan rotor terdiri atas batang – batang penghantar yang ditempatkan di dalam alur rotor. Batang penghantar ini terbuat dari tembaga atau aluminium. Ujung –ujung batang penghantar dihubungkan singkat oleh cincin penghubung singkat, sehingga berbentuk seperti sangkar tupai. Karena batang penghantar rotor yang telah dihubungkan singkat, maka tidak dibutuhkan tahanan luar yang dihubungkan seri dengan rangkaian rotor pada saat awal berputar. Alur – alur rotor biasanya tidak dihubungkan sejajar dengan sumbu (poros) tetapi sedikit miring untuk mengurangi *noise* karena bising.

### 2.1.1 Prinsip Kerja Motor Induksi

Motor induksi bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik dari kumparan stator dan kepada kumparan rotornya. Garis-garis gaya fluks yang diinduksikan dari kumparan stator akan memotong kumparan rotornya sehingga timbul gaya gerak listrik atau tegangan induksi dan karena kumparan rotor merupakan rangkaian tertutup, maka akan mengalir arus pada kumparan rotor. Kumparan rotor yang dialiri arus ini berada dalam garis gaya fluks yang berasal dari kumparan stator, sehingga kumparan rotor mengalami gaya lorentz dan menimbulkan torsi yang cenderung menggerakkan rotor sesuai dengan arah pergerakan medan induksi stator.

Pada rangka stator terdapat kumparan stator yang ditempatkan pada slot-slot yang dililitkan pada sejumlah kutub tertentu. Jumlah kutub ini menentukan kecepatan berputarnya medan stator yang terjadi diinduksikan ke rotornya. Makin besar jumlah kutub akan mengakibatkan makin kecilnya kecepatan medan putar stator dan sebaliknya. Kecepatan berputarnya medan putar ini disebut kecepatan sinkron. Besarnya kecepatan sinkron dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$N_s = \frac{120 f}{P} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

$N_s$  : kecepatan putaran sinkron medan magnet stator

$F$  : Frekuensi

$P$  : Jumlah pasang kutub

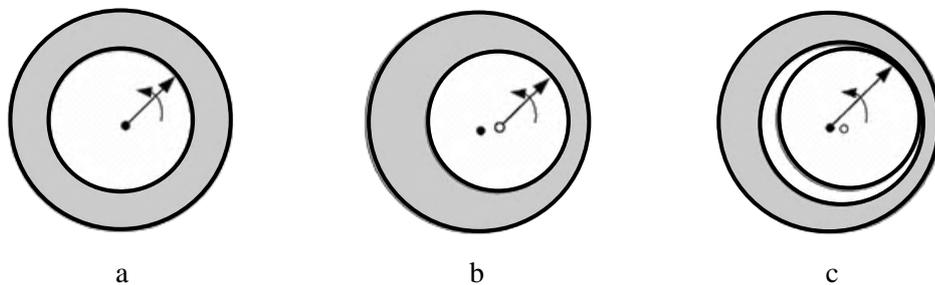
Motor induksi memiliki dua bagian utama yaitu stator bagian motor yang diam dan rotor bagian motor yang berputar. Diantara keduanya memiliki celah udara (airgap)

### 2.2. Celah Udara Eksentrisitas

Celah udara eksentrisitas pada motor induksi terdiri dari statis dan dinamis. Eksentrisitas statis ditandai dengan displacement dari sumbu rotasi dimana posisi panjang airgap minimal adalah tetap dalam ruang. Hal ini dapat disebabkan oleh gerakan oval stator atau dengan posisi yang salah dari rotor atau stator pada tahap commissioning. Apabila rotor tidak berpusat di dalam lubang stator maka distribusi pada airgap tidak lagi simetris. Airgap yang tidak simetris

menimbulkan distribusi medan magnet tidak seimbang. Namun eksentrisitas statis juga dapat menyebabkan eksentrisitas dinamis [5]. Yang terakhir terjadi bahwa rotor tidak berputar pada porosnya sendiri dan airgap minimum berputar dengan rotor. Hal ini disebabkan oleh poros bengkok, resonansi mekanik hingga memakai bantalan ( *misalignment* ) yang tidak sesuai. Oleh karena itu, airgap tidak merata menyebabkan medan magnet tidak simetris.

Pada kenyataannya eksentrisitas statis dan dinamis cenderung hidup berdampingan. Pada kondisi ideal, eksentrisitas tidak pernah diasumsikan. Oleh karena itu eksentrisitas terdapat pada setiap mesin bahkan dalam kondisi baru diproduksi karena manufaktur dan metode merakitnya[6]. Gambar 2.2 akan menunjukkan kondisi eksentrisitas yang terdiri dari eksentrisitas statis dan dinamik eksentrisitas.



Gambar 2.2 Eksentrisitas, a. Motor normal, b. Eksentrisitas Statis, c. Dinamik eksentrisitas [8]

Airgap eksentrisitas pada motor induksi menyebabkan komponen harmonik, elektromagnetik dan jumlah mekanik. Oleh karena itu, baik dalam jumlah mekanis seperti getaran atau torsi osilasi atau kuantitas listrik seperti arus atau daya seaat dapat dianalisis untuk mendeteksi kondisi eksentrisitas. Ada dua metode untuk mendeteksi celah udara eksentrisitas. Dalam kebanyakan kasus dapat dideteksi dengan bantuan komponen frekuensi tinggi tertentu di bagian stator. Metode pertama memungkinkan untuk memantau perilaku arus di sidebands dari frekuensi slot. Frekuensi sideband terkait dengan eksentrisitas dirumuskan :

$$f_{slot+ecc} = f_s \left[ (kR \pm n_d) \left( \frac{1-s}{p} \right) \pm n_\omega \right] \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana  $n_d = 0$  pada kasus eksentrisitas statis, dan  $n_d = 1,2,3 \dots$  pada kasus eksentrisitas dinamis (  $n_d$  sebagai orde eksentrisitas ),  $f_s$  adalah frekuensi

fundamental, R adalah jumlah dari slot rotor, s adalah slip, p adalah jumlah pasang kutub,  $n_\omega$  adalah urutan harmonik pada stator yang ada pada sumber listrik.

Metode kedua ini berdasarkan pada pemantauan perilaku arus di sideband dari frekuensi yang terjadi dan kelipatannya. Frekuensi ini diberikan

$$f_{ecc} = k_1 \cdot f_s \pm m \cdot f_s \left( \frac{1-s}{p} \right) \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana  $m = 1,2,3,\dots$ ,  $k_1 = 1,5,7 \dots$ . Secara teoritis frekuensi kelipatan tiga tidak harus hadir dalam spektrum, namun karena asimetrinya mesin dan tidak liniernya bahan maka hal tersebut dapat keluar [6].

### 2.3. Transformasi Wavelet

Teori wavelet adalah suatu konsep yang relatif baru dikembangkan. Kata “Wavelet” sendiri diberikan oleh Jean Morlet dan Alex Grossmann pada awal tahun 1980-an, dan berasal dari bahasa Prancis, “*ondelette*” yang berarti gelombang kecil. Kata “*onde*” yang berarti gelombang kemudian diterjemahkan ke bahasa Inggris menjadi “*wave*”, lalu digabung dengan kata aslinya sehingga terbentuk kata baru “wavelet”. Transformasi wavelet dibagi menjadi dua bagian besar, yaitu transformasi wavelet kontinu (TWK) dan transformasi wavelet diskrit (TWD).

#### 2.3.1 Transformasi Wavelet Kontinue

Cara kerja transformasi wavelet kontinu (TWK) adalah dengan menghitung konvolusi sebuah sinyal dengan sebuah jendela modulasi pada setiap waktu dengan setiap skala yang diinginkan. Jendela modulasi yang mempunyai skala fleksibel inilah yang biasa disebut induk wavelet atau fungsi dasar wavelet. Dalam transformasi wavelet digunakan istilah translasi dan skala, karena istilah waktu dan frekuensi sudah digunakan oleh transformasi Fourier. Translasi adalah lokasi jendela modulasi saat digeser sepanjang sinyal, berhubungan dengan informasi waktu. Skala berhubungan dengan frekuensi, skala tinggi (frekuensi rendah) berhubungan dengan informasi global dari sebuah sinyal, sedangkan skala rendah (frekuensi tinggi) berhubungan dengan informasi detail. TWK secara matematika dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$\gamma(s, \tau) = \int f(t) \varphi_{s,\tau}^*(t) dt \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana

$\gamma(s, \tau)$  : Fungsi sinyal setelah transformasi dengan variabel  $s$  (skala) dan  $\tau$  (translasi) sebagai dimensi baru

$f(t)$  : sinyal asli sebelum transformasi

$\varphi_{s,\tau}^*$  : fungsi dasar yang disebut wavelet dengan \* menunjukkan konjugasi kompleks.

Dan invers dari TWK secara matematika dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$f(t) = \iint \gamma(s, \tau) \varphi_{s,\tau} d\tau ds (t) \dots\dots\dots (2.5)$$

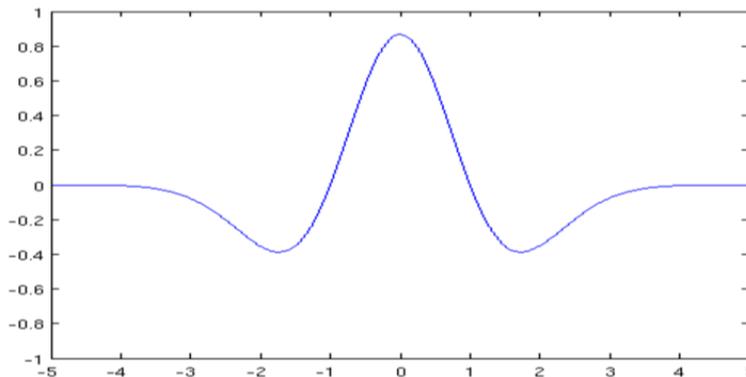
Fungsi dasar wavelet secara matematika dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$\varphi_{s,\tau}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \varphi \left( \frac{t-\tau}{s} \right) \dots\dots\dots (2.6)$$

Faktor  $\frac{1}{\sqrt{s}}$  digunakan untuk normalisasi energi pada skala yang berubah ubah.

Menurut Mexican Hat, yang merupakan normalisasi dari derivatif kedua fungsi gaussian adalah salah satu contoh fungsi dasar TWK:

$$\varphi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma^3} \left( 1 - \frac{t^2}{\sigma^2} \right) e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} \dots\dots\dots (2.7)$$

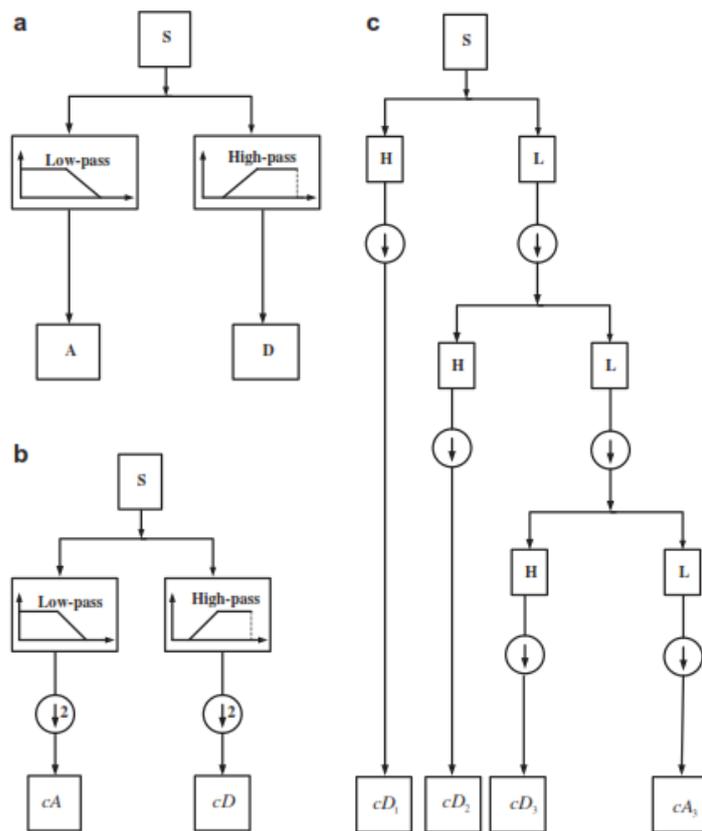


Gambar 2.3 Wavelet Mexican Hat

### 2.3.2 Transformasi Wavelet Diskrit

Dibandingkan dengan TWK, transformasi wavelet diskrit (TWD) dianggap relatif lebih mudah pengimplementasiannya. Prinsip dasar dari TWD adalah bagaimana cara mendapatkan representasi waktu dan skala dari sebuah sinyal menggunakan teknik pemfilteran digital dan operasi sub-sampling. Sinyal pertama

dilewatkan pada rangkain filter high-pass dan *low-pass*, kemudian setengah dari masing-masing keluaran diambil sebagai sample melalui operasi sub-sampling. Proses ini disebut sebagai proses dekomposisi satu tingkat. Keluaran dari filter *low-pass* digunakan sebagai masukan di proses dekomposisi tingkat berikutnya. Proses ini diulang sampai tingkat proses dekomposisi yang diinginkan. Gabungan dari keluaran-keluaran filter high-pass dan satu keluaran filter *low-pass* yang terakhir, disebut sebagai koefisien *wavelet*, yang berisi informasi sinyal hasil transformasi yang telah terkompresi.



Gambar 2.4 Proses Dekomposisi Wavelet a. Filtering, b. Filtering and down sampling, c. Decomposition [9]

Pada gambar 2.3 merupakan prinsip dasar dari transformasi wavelet diskrit. Sinyal  $S$  merupakan sinyal asli atau original, ini dilewatkan ke filter *high and low-pass*, yang memberikan aproksimasi ( $A$ ) dan detail ( $D$ ).

Berkat operasi sub-sampling yang menghilangkan informasi sinyal yang berlebihan, transformasi wavelet telah menjadi salah satu metode kompresi

data yang paling handal. Pasangan filter high-pass dan low-pass yang digunakan harus merupakan *quadrature mirror filter* (QMF), yaitu pasangan filter yang memenuhi persamaan berikut:

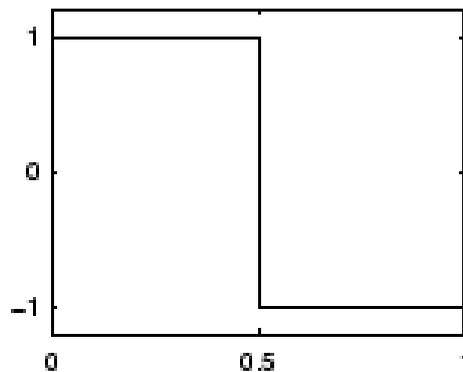
$$h[L - 1 - n] = (-1)^n \cdot g[n] \dots \dots \dots (2.8)$$

dimana :

- h[n] : filter *high-pass*
- g[n] : filter *low-pass*
- L : panjang masing-masing filter

### 2.3.2.1 Haar

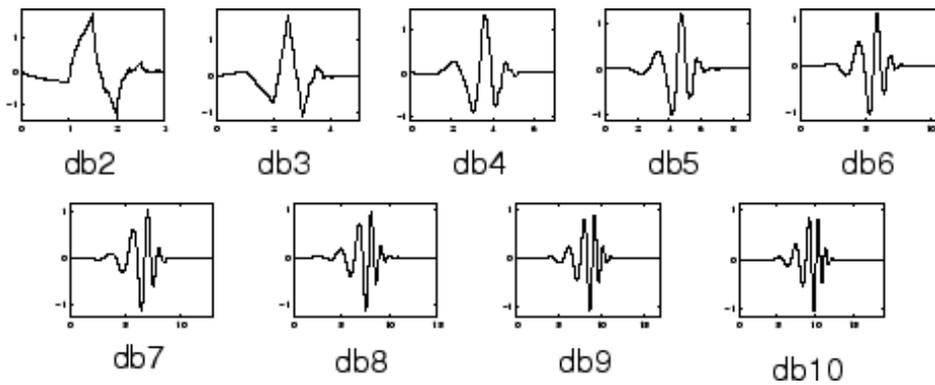
Setiap diskusi tentang wavelet dimulai dengan wavelet jenis Haar, karena wavelet ini merupakan wavelet yang pertama dan paling sederhana. Wavelet Haar *discontinuous*, dan menyerupai fungsi langkah. Ini mewakili wavelet yang sama dengan Daubechies db1 [10]



Gambar 2.5 wavelet function [10]

### 2.3.2.2 Daubechies wavelets (db)

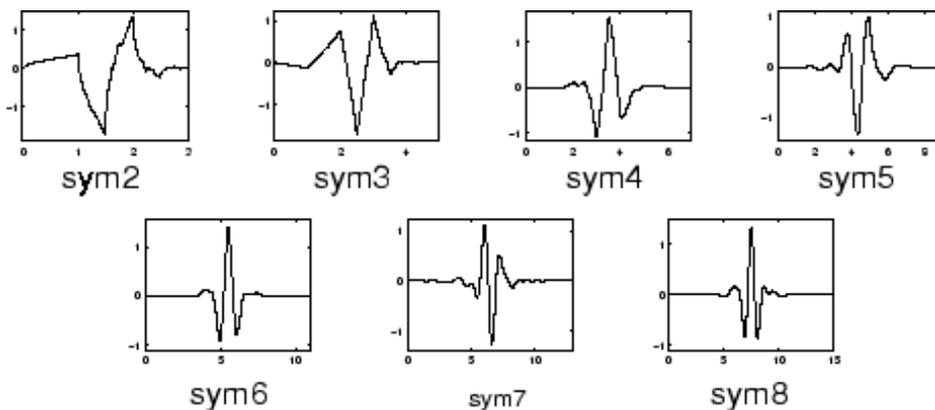
Ingrid Daubechies, merupakan orang di dunia yang melakukan penelitian wavelet, menemukan apa yang disebut wavelet ortonormal yang didukung secara kompak - sehingga analisis wavelet diskrit dapat digunakan. Nama-nama wavelet keluarga Daubechies ditulis dbN, di mana N adalah urutan, dan db "nama belakang" dari wavelet. Wavelet db1, sebagaimana disebutkan di atas, sama dengan wavelet Haar. [10] Berikut adalah fungsi wavelet psi dari sembilan anggota keluarga:



Gambar 2.6 db wavelet function [10]

### 2.3.2.3 Symlets

The symN wavelets juga dikenal sebagai wavelet terkecil-asimetris Daubechies, yang diusulkan oleh Daubechies sebagai modifikasi pada keluarga db. sifat dari dua famili wavelet ini adalah serupa. Symlets lebih simetris daripada wavelet fase ekstrem. Dalam symN, N adalah jumlah momen yang hilang. Filter ini juga disebut dalam literatur dengan jumlah tap filter, yaitu  $2N$  [10]. Berikut ini fungsi wavelet psi



Gambar 2.7 sym wavelet function

## 2.4 Signal Energy and Power

Istilah energi sinyal dan power atau daya sinyal digunakan untuk mengkarakterisasi sinyal. biasanya, batas diambil selama interval waktu yang tak terbatas

$$E_{\infty} = \int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 dt$$

$$E_{\infty} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} |x[n]|^2 \dots\dots\dots(2.9)$$

$$P_{\infty} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T |x(t)|^2 dt$$

$$P_{\infty} = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N+1} \sum_{n=-N}^{\infty} |x[n]|^2 \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana sebuah sinyal E = sinyal energi dan P = sinyal daya [11]

**\*\*\*Halaman ini sengaja dikosongkan\*\*\***

## **BAB 3**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

Metode penelitian terdiri dari studi literatur, konfigurasi sistem, diagram alir penelitian, sistematika laporan dan jadwal penelitian.

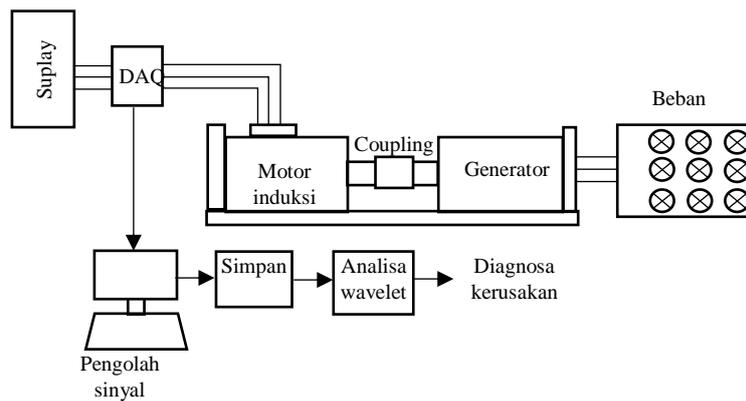
#### **3.1 STUDI LITERATUR**

Penelitian ini dilakukan untuk melanjutkan beberapa penelitian yang telah ada sehingga dapat digunakan sebagai dasar studi literatur yang berhubungan dengan permasalahan yang akan diteliti. Pada penelitian ini literatur yang digunakan ialah :

1. Referansi [1] dan [6] menjelaskan tentang diagnosa kerusakan yang terjadi pada motor induksi yang diakibatkan oleh airgap eksentrisitas.
2. Referensi [3] dan [8] menjelaskan tentang analisa kerusakan motor induksi yang diakibatkan oleh airgap eksentrisitas dengan menggunakan motor current signature analysis.
3. Referensi [9], [10] dan [11] menjelaskan tentang penggunaan transformasi wavelet
4. Referensi [2] ini menjelaskan tentang pengujian kerusakan motor induksi yang diakibatkan oleh airgap eksentrisitas belum dilakukan dengan menambah beban.

#### **3.2 KONFIGURASI SISTEM**

Sistem yang digunakan terdiri dari motor induksi tiga fasa, generator sinkron serta *load bank* sebagai beban motor, DAQ, beberapa peralatan pengukuran serta *list program* pengolah sinyal dan sebuah *software* terprogram. Gambaran menyeluruh mengenai sistem yang akan digunakan pada penelitian ini seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Konfigurasi sistem

Motor induksi yang digunakan pada penelitian ini adalah motor induksi tiga fasa rotor sangkar tupai dengan daya rating sebesar 2 HP (1,492 kW). Belitan motor dirangkai *wye* sehingga memiliki tegangan dan arus *rating* sebesar  $V_t = 380$  V dan  $I_a = 0,6$  Ampere. Beban mekanis pada motor yang digunakan dalam pengukuran adalah berupa generator sinkron yang dikopel dengan motor. Untuk memvariasikan beban pada motor, generator sinkron dibebani oleh beban resistif berupa lampu pijar berdaya 100 Watt. Data motor induksi dan generator sinkron yang digunakan pada Tugas Akhir ini dijelaskan pada Tabel 3.1 dan 3.2.

Tabel 3.1 Data Motor Induksi Tiga Fasa

Parameter Motor Induksi	Nilai
Merk	Tatung
Daya Rating	1,5 kW / 2 Hp
Jumlah Pole	4
Tegangan Rating	380 V (koneksi Y)
Arus Rating	3,44 A
Kecepatan Rating	1380 rpm
Faktor Daya	0,66
Frekuensi	50 Hz
IP	55

Tabel 3.2 Data Generator Sinkron

Parameter Generator Sinkron	Nilai
Merk	Shantou
Daya Rating	5 kW / 6.25 kVA
Jumlah Pole	4
Tegangan Rating	400 V (koneksi Y)
Arus Rating	9.02 A
Kecepatan Rating	1500 rpm
Frekuensi	50 Hz
Faktor Daya	0,8
Kelas Isolasi	16 Stator: E / Rotor: B

Arus yang diambil untuk proses analisa adalah arus suplai dalam keadaan *steady state*. Sebelum arus suplai masuk ke motor, arus terlebih dahulu masuk ke DAQ untuk proses sampling, sehingga DAQ dipasang seri di antara sumber tegangan PLN dan motor induksi.

Tabel 3.3 Data DAQ

Parameter Akuisitor Data	Nilai
Merk	National Instrument
cDAQ-9171	
Deskripsi	NI CompactDAQ 1-Slot USB Chassis
Suplai Sumber	AC 4.75/5.25 V 5/500 Hz
Daya Total	2.6 Watt
Resolusi	32 Bit
NI 9246	
Deskripsi	Continuous Analog Input Module
Interval Pengukuran	AC 22 Arms Continuous $\pm 30A$ peak input 50/60 Hz
Isolasi	300 Vrms $V_{LN}$ 480 Vrms $V_{LL}$ CAT II (screw terminal)
Channel	3
Sampling per channel	50kS/s
Resolusi	24 Bit
Temperatur	-40°C to 70°C

Software LabVIEW digunakan untuk pengaturan proses sampling pada DAQ. Keluaran dari hasil sampling oleh DAQ melalui LabVIEW adalah berupa file *Technical Data Management Streaming* (TDMS). Untuk dapat melihat sinyal hasil sampling melalui file TDMS tersebut, dibutuhkan lagi satu *software* yakni DIAdem. Dengan *software* DIAdem, sinyal hasil proses sampling dapat diatur tampilannya. Selain itu, DIAdem juga dapat digunakan untuk mengubah file TDMS tadi ke bentuk file excel. File excel hasil konversi oleh DIAdem berisi data teknis melalui proses sampling dan juga data arus ketiga fasa. File excel inilah yang akan

digunakan sebagai input pada *software* MATLAB untuk bisa dilakukan proses analisa.

### 3.3 PROSES PENGAMBILAN DATA

Dalam penelitian eksentrisitas celah udara, proses pengambilan data yaitu dengan cara akuisi data. akuisi data ini sudah dibahas di sub sebelumnya menggunakan NI DAQ-9246. karena dalam penelitian ini data yang diambil yaitu *current signature* dalam kondisi *steady state*. sehingga DAQ yang digunakan jenis DAQ untuk arus. media yang mengubah sinyal arus stator menjadi sekumpulan data secara digital dan melakukan akuisisi data untuk keperluan analisis. Untuk *software* yang digunakan bisa dilihat di sub sebelumnya.



Gambar 3.2 alat akuisisi data type NI-DAQ 9246

langkah-langkah pengambilan data yaitu :

- Siapkan semua alat penelitian dan disusun seperti gambar 3.2 kemudian aktifkan dengan menyambungkan ke sumber 3 fasa
- Alat yang dijalankan yaitu motor, pengambilan data pertama yaitu motor tanpa beban. Jalankan motor sampai kondisi *steady state*
- Proses akuisi data dilakukan dengan *software* LabVIEW yang terhubung dengan DAQ

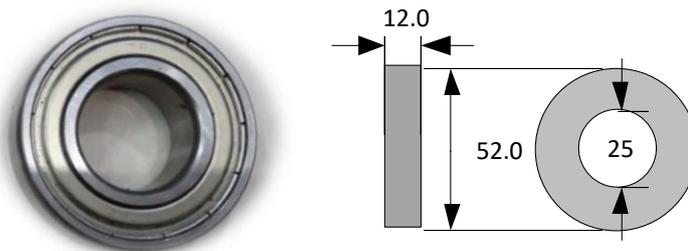
- Setelah pengambilan data motor tanpa beban, langkah-langkah diatas di ulangi untuk variasi pembebanan yaitu 0%,25%, 50%, 75% dan 100% masih dalam kondisi motor normal
- Selanjutnya mengulangi langkah-langkah di atas untuk kondisi motor rusak atau eksentrisitas 0,1 mm dan eksentrisitas 0,2 mm.
- Setelah data sinyal sudah didapatkan,selanjutnya melakukan pengolahan data dengan metode wavelet.



Gambar 3.3 percobaan sistem deteksi kerusakan motor akibat eksentrisitas

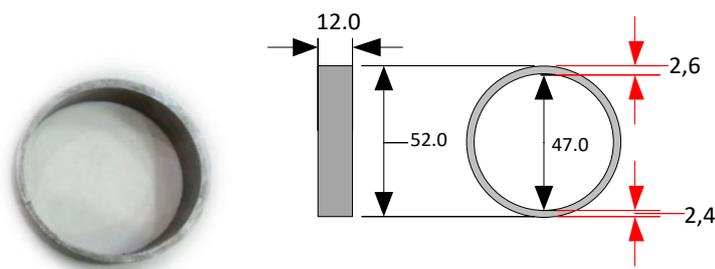
### 3.4 REKONTRUKSI EKSENTRISITAS CELAH UDARA

Untuk membuat simulasi terjadinya eksentrisitas maka dilakukan rekonstruksi pada bagian bearing yaitu dengan mengubah ukuran *bearing existing* atau bearing normal menjadi lebih kecil. Bearing existing memiliki diameter luar 52 mm dan diameter dalam 25 mm.

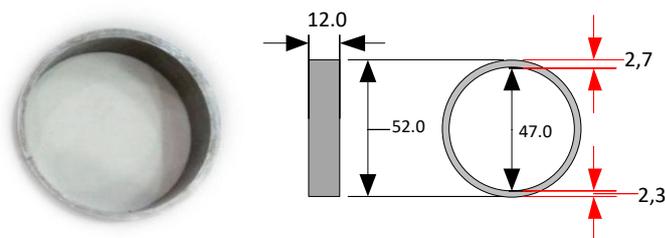


Gambar 3.4 Bearing dalam keadaan normal

Untuk menjadikan rotor menjadi tidak simetris terhadap celah udara maka bearing existing diganti dengan ukuran yang lebih kecil yaitu dengan ukuran diameter luar 47 mm dan diameter dalam tetap sama yaitu ukuran 25mm. Agar bearing menjadi lebih presisi pada rumah bearing serta untuk membuat menjadi tidak simetris maka dibuat ring bearing dengan diameter luar 52mm dan diameter dalam 47mm. Fungsi dari ring bearing ini yaitu untuk melapisi bearing yang ukurannya lebih kecil agar ukurannya sama dengan bearing existing. Untuk membuat poros rotor tidak simetris maka ketebalan dinding ring dibuat berbeda

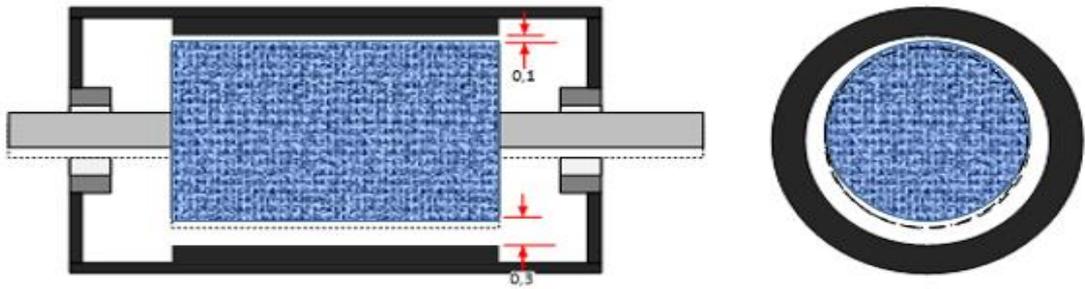


Gambar 3.5 Ring dengan ketebalan diameter dalam bergeser 0,1mm



Gambar 3.6 ring dengan ketebalan diameter dalam bergeser 0,2mm

Untuk membuat shaft rotor bergeser 0,1 mm terhadap porosnya maka ring dibuat tebal bagian atas sebesar 2,6 mm dan bagian bawah sebesar 2,4 mm. Ring ini dipasang pada kedua sisi rumah bearing secara sejajar. Poros shaft rotor bergeser 0,1 mm kebawah dan menjadikan celah udara bagian atas bertambah menjadi 0,3mm yang semula 0,2mm dan celah udara bagian bawah menjadi 0,1 mm dari 0,2 mm. Pada gambar 3.5 sama halnya dengan dengan gambar 3.4 namun pada gambar 3.5 ketebalan ring bagian atas dibuat 2,7mm dan bagian bawah 2,3 mm yang mengakibatkan membuat celah udara tidak simetris atau tidak seimbang.

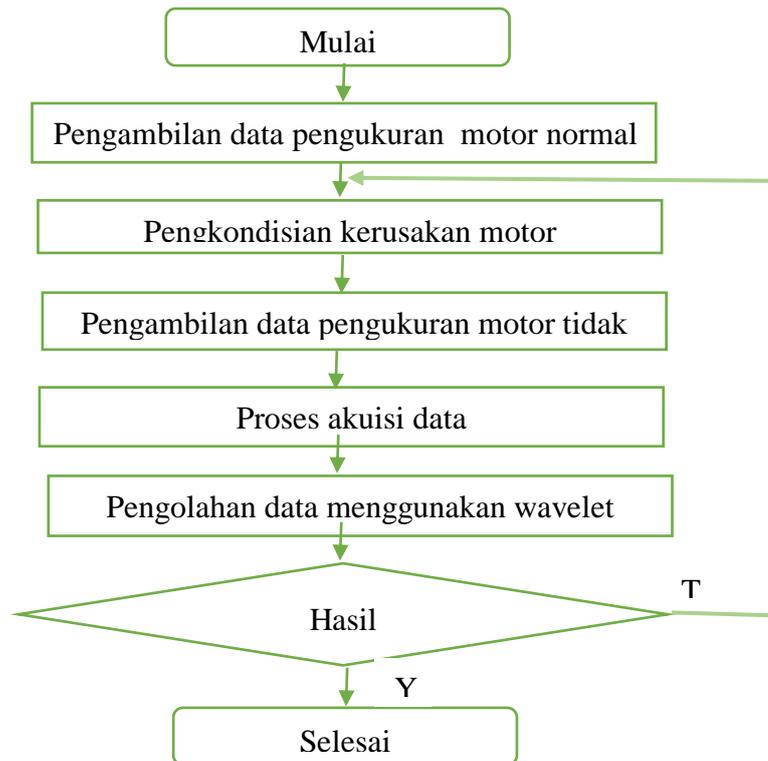


Gambar 3.7 skema eksentrisitas celah udara

Pada penelitian ini akan menggunakan eksentrisitas celah udara yang bersifat statis yaitu mengalami ketidak seimbangan celah udara namun rotor dan stator tetap selaras. Maka pemasangan ring bearing yang berbeda ketebalan akan dipasang selaras juga.

### 3.5 DIAGRAM ALIR PENELITIAN

Langkah-langkah penelitian yang akan dilakukan dapat dibuat dalam bentuk diagram alir yang ditunjukkan oleh gambar dibawah ini :



Gambar 3.8 diagram alir untuk melakukan eksperimen motor induksi tiga fasa dengan ketidak-simetrisan celah udara

**\*\*\*Halaman ini sengaja dikosongkan\*\*\***

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab 4 ini akan menjelaskan tentang hasil pengujian eksentrisitas celah udara atau *air gap* pada motor induksi tiga fasa dengan pengolahan signal menggunakan metode wavelet. dalam tahap pengujian atau pengambilan data sudah dijelaskan pada bab sebelumnya, data yang digunakan merupakan *real-time* dalam kondisi *steady state*. Dalam pembebanan ini menggunakan *dumy load* yang divariasikan dari 0% hingga 100% yang dapat dilihat pada table 4.1.

Tabel 4.1 Persentase pembebanan pada motor induksi

<b>Beban (%)</b>	<b>Daya Beban (watt)</b>
0	330
25	700
50	1070
75	1440
100	1810

Pengujian ini dilakukan dengan tahap pengambilan data motor normal dimana motor masih kondisi baik, kemudian dilakukan tahap pengambilan data motor eksentrisitas 0,1 mm dan eksentrisitas 0,2 mm ini adalah kondisi *air gap* yang sudah tidak simetris sehingga kondisi motor sudah tidak normal.

#### 4.1 Pengolahan Sinyal Arus Menggunakan Metode Wavelet

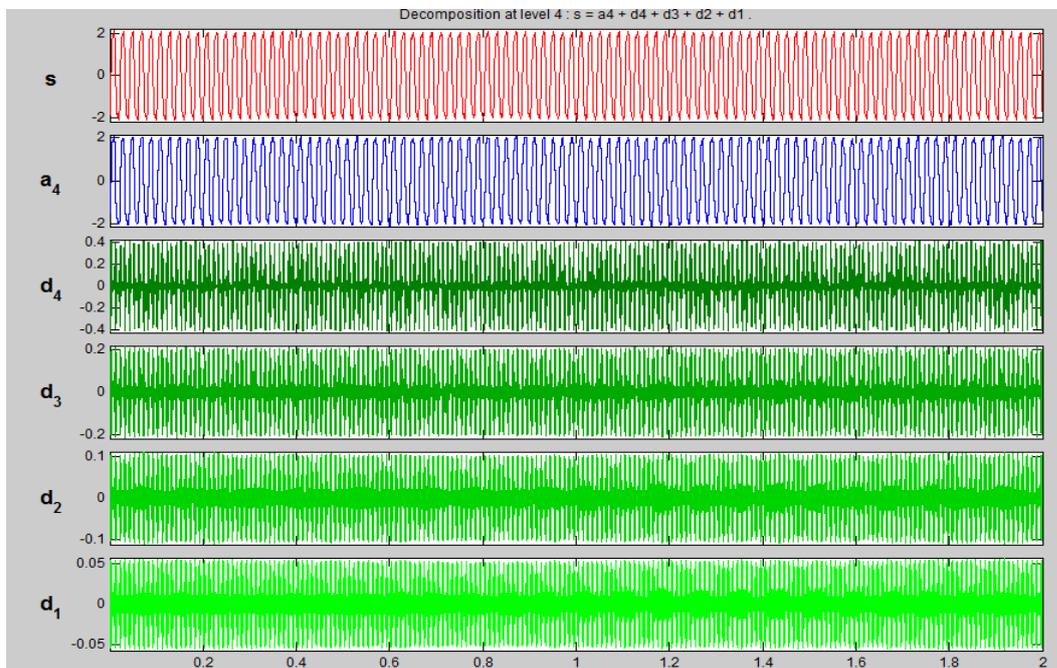
Dalam pengolahan signal arus yang menggunakan metode wavelet, pengambilan data atau frekuensi sampling yang digunakan adalah 10000 *samples/detik* dengan panjang data selama 2 detik. Pengolahan signal menggunakan program matlab untuk mengetahui dekomposisi atau detail dari signal arus, dekomposisi wavelet transform merupakan suatu penguraian dari signal

asli ke detail yang disesuaikan pada model dengan level yang akan digunakan. Untuk jenis yang digunakan ada 3, yaitu deubaches (db), haar dan symlet kemudian level yang akan digunakan adalah level 4.

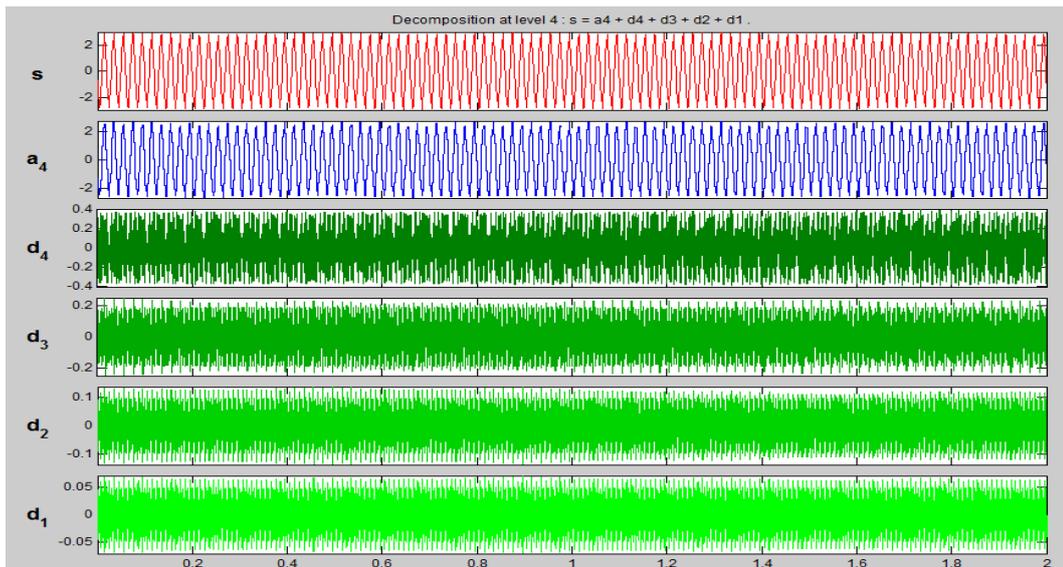
## 4.2 Pengujian sinyal dengan Metode Wavelet Haar

Dalam pengujian sinyal, wavelet yang akan digunakan untuk menguraikan signal, terdapat 3 kondisi motor yaitu kondisi motor normal, kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm dan eksentrisitas 0,2 mm. Selain kondisi motor terdapat juga pembebanan seperti pada tabel 4.1. Wavelet haar yang digunakan yaitu haar level 4, berikut ini dapat dilihat penguraian dari hasil wavelet haar

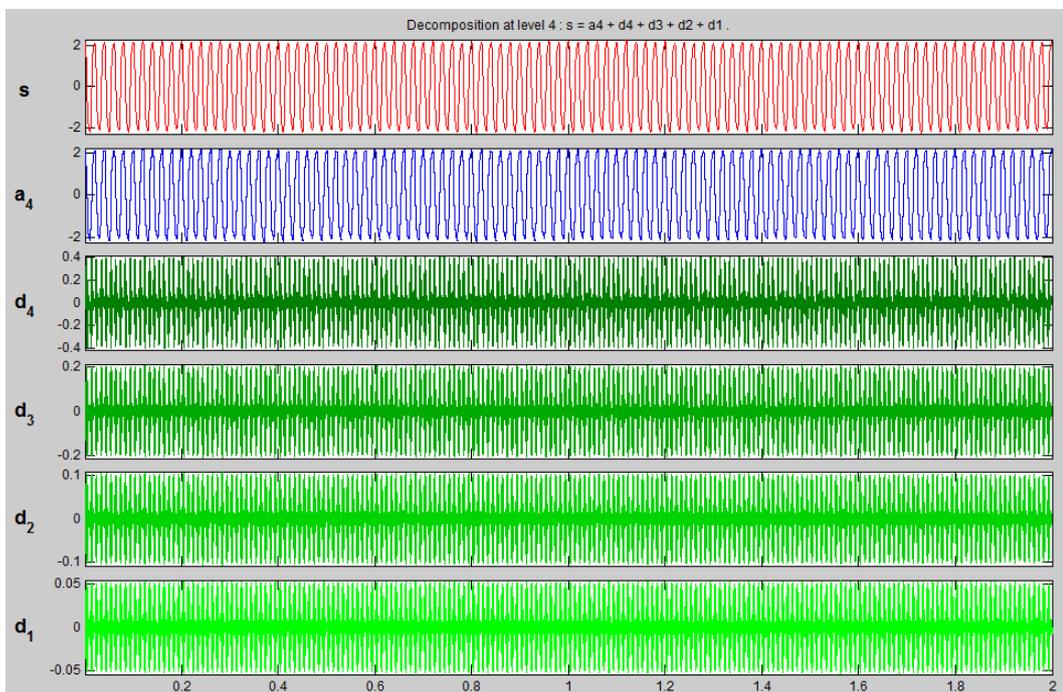
### 4.2.1 Pengujian arus stator motor pada beban 0%



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.1 Dekomposisi signal wavelet haar arus stator tanpa beban (a) kondisi motor normal, (b) kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm, (c) kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm

Dari penguraian hasil signal wavelet haar menunjukkan adanya perbedaan visualisasi sinyal yang dilihat dari bentuk *ripple* dari detail 1 sampai detail ke-4

dengan nilai skala yang sama pada masing-masing detail. Namun dari visual sinyal tidak dapat menunjukkan perbedaan pendeteksian kondisi motor rusak yang lebih akurat dengan jumlah *ripple* yang begitu padat, sehingga dari sinyal detail di atas dapat dilakukan perumusan variabel deteksi untuk sinyal d1 sampai d4, kemudian adanya perhitungan jumlah *ripple* pada sinyal d1 sampai d4 menggunakan persamaan di bawah ini

$$\text{Daya rata-rata D1} = \sum_0^n \frac{d(t)^2}{n} \dots\dots\dots (4.1)$$

Dimana, n adalah jumlah data d(t) nilai arus terhadap waktu

Agar terlihat lebih jelas, maka digunakan perhitungan daya rata-rata di setiap detail dan dilakukan pada *range* waktu 0,4 detik ke 1,4 detik atau selama 1 detik pada masing-masing sinyal, sehingga didapatkan hasil seperti di bawah ini

Tabel 4.2 Daya Rata-Rata sinyal wavelet haar pada beban 0 %

Parameter kerusakan	Daya rata-rata			
	D1	D2	D3	D4
Kondisi motor normal	8.16 x10 <sup>-4</sup>	0.0032	0.0127	0.0489
Kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm	0.0010	0.0041	0.0160	0.0592
Kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm	8.05 x10 <sup>-4</sup>	0.0032	0.0128	0.0502

Pada tabel 4.2 dapat dilihat bahwa pada kondisi eksentrisitas 0,1 mm mengalami kenaikan nilai daya rata-rata untuk setiap masing-masing detail dari kondisi motor normal, sedangkan untuk kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm terlihat mengalami penurunan nilai daya rata-rata dari kondisi motor normal sehingga dilakukan lagi adanya standarisasi atau normalisasi. Normalisasi dilakukan dengan cara nilai daya rata-rata pada setiap detail dibagikan dengan Irms setiap kondisi motor,

$$\text{normalisasi} = \frac{\text{nilai daya rata - rata}}{\text{Irms kondisi motor}} \dots\dots\dots (4.2)$$

Nilai Irms setiap kondisi motor dapat dilihat di bawah ini

- Irms motor normal = 1.6215 A
- Irms motor eksentrisitas 0,1 mm = 1.7692 A
- Irms motor eksentrisitas 0,2 mm = 1.6729 A

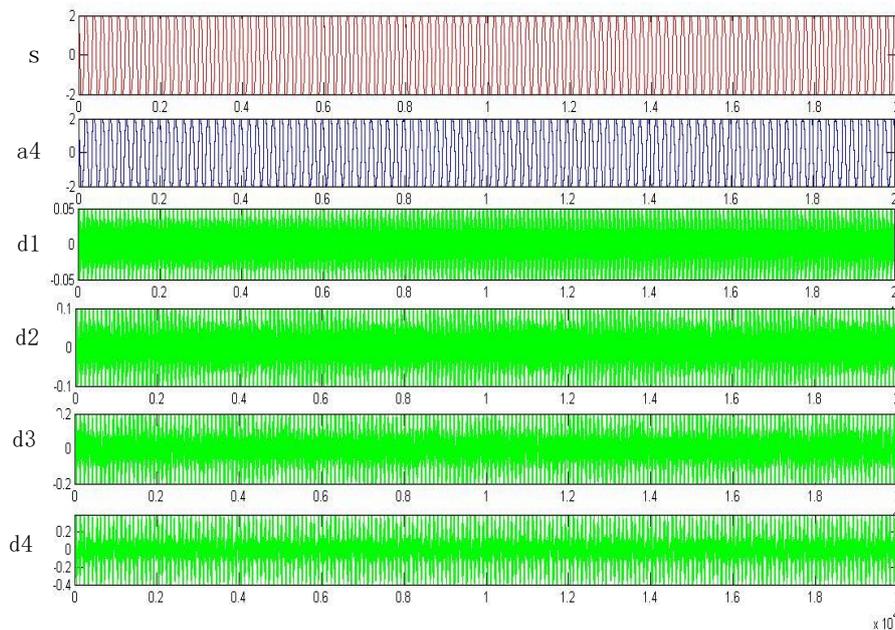
Perhitungan nilai normalisasi dilakukan dengan persamaan 4.2, untuk nilai daya rata-rata d1 yaitu  $D1 = \frac{8,16 \times 10^{-4}}{1,6215} = 5,03 \times 10^{-4}$ . Perhitungan dilakukan di setiap detail 1 sampai detail 4 masing-masing kondisi motor. Hasil dari normalisasi tersebut dapat dilihat pada tabel 4.3

Tabel 4.3 Daya Rata-Rata wavelet haar dengan Irms pada beban 0%

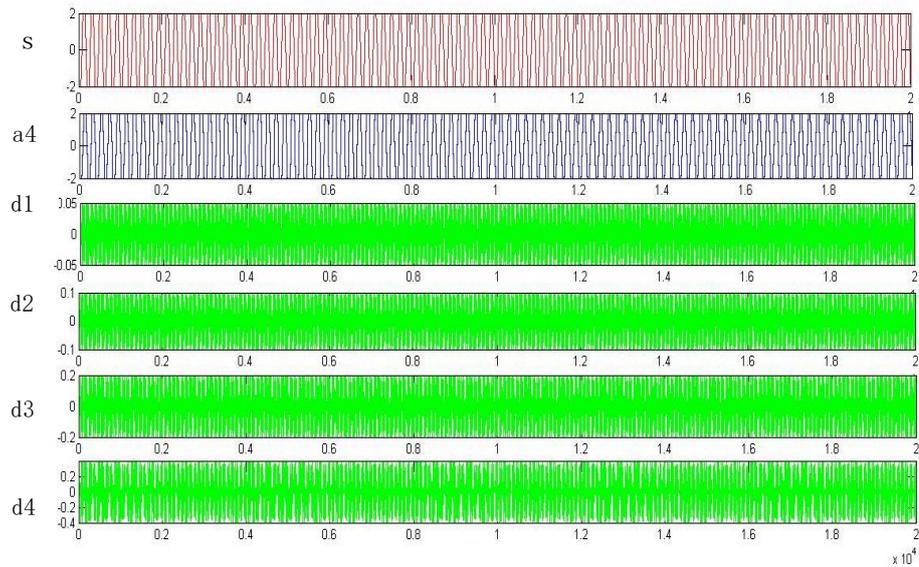
Parameter kerusakan	Daya			
	D1	D2	D3	D4
Kondisi motor normal	$5.03 \times 10^{-4}$	0.0020	0.0079	0.0302
Kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm	$5.85 \times 10^{-4}$	0.0023	0.0091	0.0334
Kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm	$4.81 \times 10^{-4}$	0.0019	0.0077	0.0300

Tabel 4.3 menunjukkan hasil yang sama bahwa pada kondisi eksentrisitas 0,1 mm terjadi kenaikan nilai daya rata-rata namun berbanding terbalik paa kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm. Sehingga memerlukan acuan nilai daya rata-rata yang paling kecil pada kondisi motor normal, ini di dapatkan dengan melihat setiap kondisi motor normal dari beban 0% sampai beban 100%.

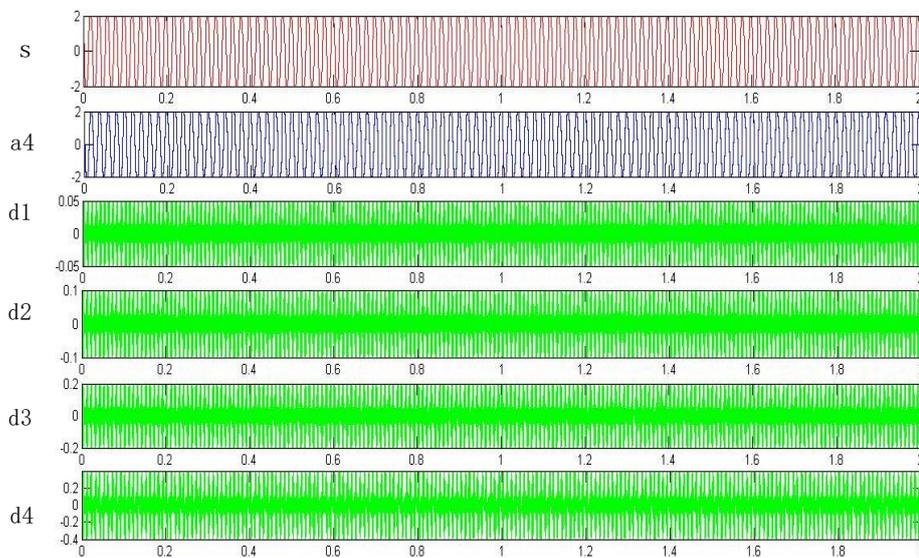
#### 4.2.2 Pengujian arus stator pada beban 25%



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.2 dekomposisi sinyal wavelet haar arus stator pada beban 25% (a) kondisi motor normal, (b) kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm, (c) kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm

Pada Gambar 4.2 menunjukkan hasil dekomposisi motor normal dengan motor eksentrisitas. Yang dilihat dari adanya bentuk *ripple* yang berbeda atau bentuk sinyal pada d1 sampai d4 dengan skala yang sama, untuk melihat adanya perbedaan yang lebih jelas pada motor normal dengan motor yang telah

direkonstruksi celah udara dilakukan perhitungan jumlah *ripple* pada setiap sinyal detail dengan persamaan daya rata-rata. Dengan menggunakan range waktu yang sama yaitu 0,4 detik – 1,4 detik. Berikut ini adalah hasil perhitungan daya rata-rata pada beban 25%

Tabel 4.4 Daya Rata-Rata sinyal wavelet haar pada beban 25%

Parameter kerusakan	Daya			
	D1	D2	D3	D4
Kondisi motor normal	0.0011	0.0042	0.0163	0.0602
Kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm	0.0015	0.0059	0.0229	0.0845
Kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm	$9.43 \times 10^{-4}$	0.0038	0.0150	0.0585

Untuk Tabel 4.4 menunjukkan hasil yang sama untuk motor beban 0%, terlihat adanya kenaikan nilai daya rata-rata pada motor eksentrisitas 0,1 mm dan mengalami penurunan pada motor eksentrisitas 0,2 mm. Selanjutnya dilakukan normalisasi dengan cara mencari nilai I rms pada setiap kondisi motor kemudian dibagi dengan nilai daya rata-rata untuk masing-masing kondisi motor. Nilai I rms dan nilai daya rata-rata dapat dilihat di bawah ini

$$\text{I rms motor normal} = 1.8192 \text{ A}$$

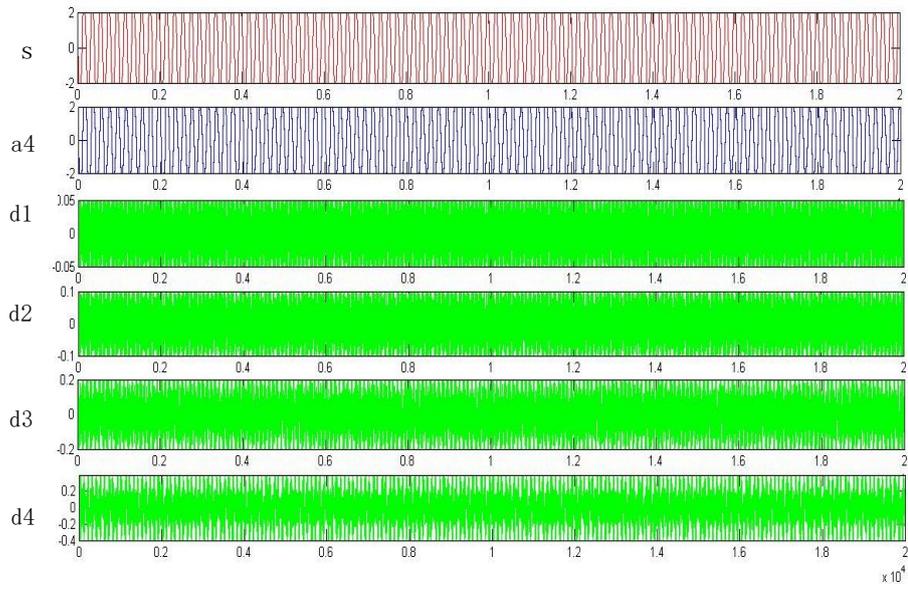
$$\text{I rms motor eksentrisitas 0,1 mm} = 1.8275 \text{ A}$$

$$\text{I rms motor eksentrisitas 0,2 mm} = 1.8036 \text{ A}$$

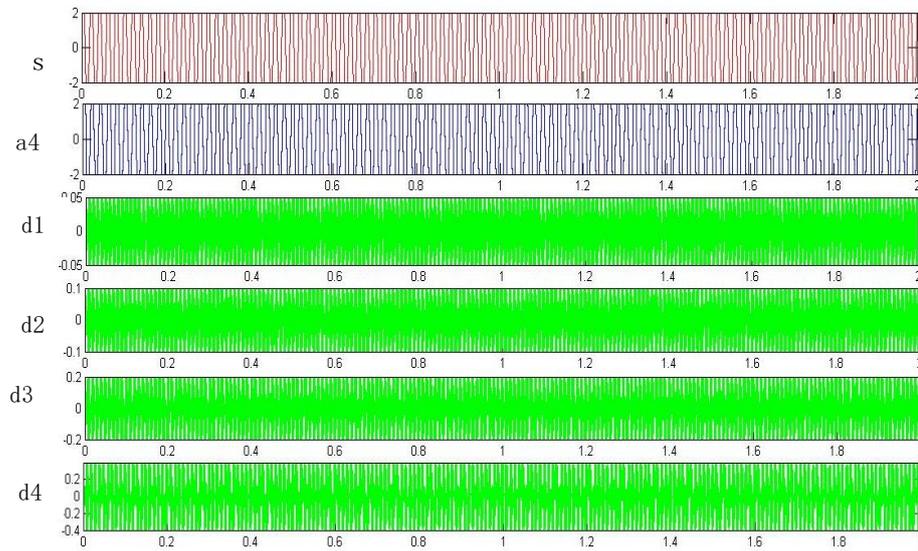
Tabel 4.5 Daya Rata-Rata wavelet haar dengan I rms pada beban 25%

Parameter kerusakan Motor beban 25%	Daya			
	D1	D2	D3	D4
Kondisi motor normal	$5.91 \times 10^{-4}$	0.0023	0.0089	0.0331
Kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm	$8.02 \times 10^{-4}$	0.0032	0.0125	0.0462
Kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm	$5.23 \times 10^{-4}$	0.0021	0.0083	0.0324

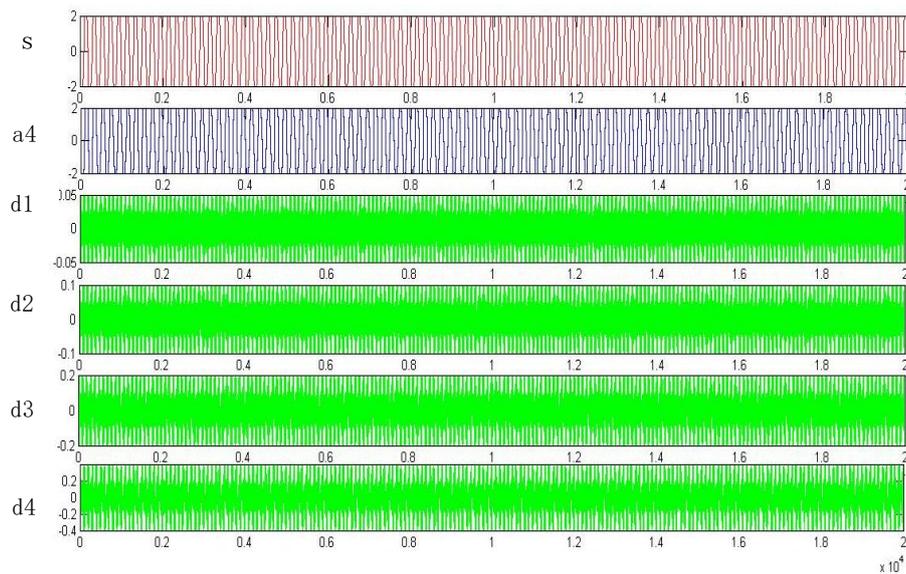
### 4.2.3 Pengujian Arus Stator pada Beban 50%



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.3 dekomposisi sinyal wavelet haar arus stator pada beban 50% (a) kondisi motor normal, (b) kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm, (c) kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm

Dari gambar 4.3 juga menunjukkan adanya perbedaan bentuk sinyal antara motor normal dengan motor rusak atau yang telah mengalami rekontruksi celah udara. Namun perbedaan yang dilihat secara visualisasi tidak dapat menunjukkan secara jelas adanya pendeteksian eksentrisitas celah udara, sehingga dilakukan perhitungan jumlah *ripple* dengan persamaan daya rata-rata. Hasil perhitungan daya rata-rata dapat dilihat pada tabel 4.6

Tabel 4.6 Daya Rata-Rata sinyal wavelet haar pada beban 50%

Parameter kerusakan Motor beban 50%	Daya			
	D1	D2	D3	D4
Kondisi motor normal	0.0015	0.0060	0.0227	0.0816
Kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm	0.0020	0.0081	0.0318	0.1197
Kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm	0.0013	0.0054	0.0213	0.0832

Dari tabel 4.6 di atas, di dapatkan hasil nilai daya rata-rata yang lebih besar dibandingkan dengan motor beban 25% dan tanpa beban. Selanjutnya akan dilakukan normalisasi dengan cara membagikan hasil nilai daya rata-rata dengan

Irms setiap kondisi motor. Berikut ini hasil nilai daya rata-rata dengan menggunakan nilai I rms

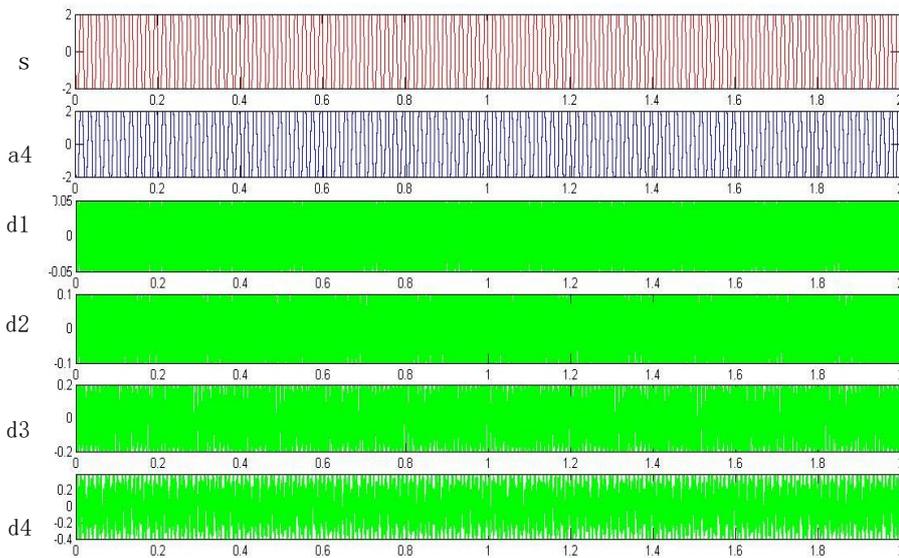
Irms motor normal = 2.1531 A  
 Irms motor eksentrisitas 0,1 mm = 2.1081 A  
 Irms motor eksentrisitas 0,2 mm = 2.1946 A

Tabel 4.7 Daya Rata-Rata wavelet haar dengan Irms pada beban 50%

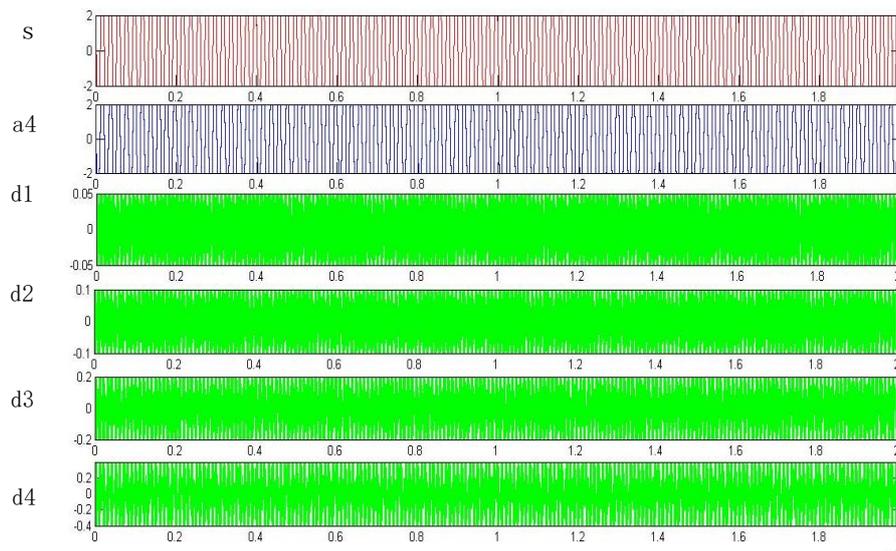
Parameter kerusakan Motor beban 50%	Daya			
	D1	D2	D3	D4
Kondisi motor normal	$7.10 \times 10^{-4}$	0.0028	0.0105	0.0379
Kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm	$9.48 \times 10^{-4}$	0.0038	0.0151	0.0568
Kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm	$6.14 \times 10^{-4}$	0.0025	0.0097	0.0379

Hasil normalisasi pada motor beban 50% yaitu nilai daya rata-rata pada setiap detail menjadi lebih kecil sebelum dibagikan dengan I rms setiap kondisi motor. Dapat dilihat bahwa pada kondisi motor eksentrisitas mengalami kenaikan nilai dibandingkan dengan kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm yang mengalami penurunan nilai.

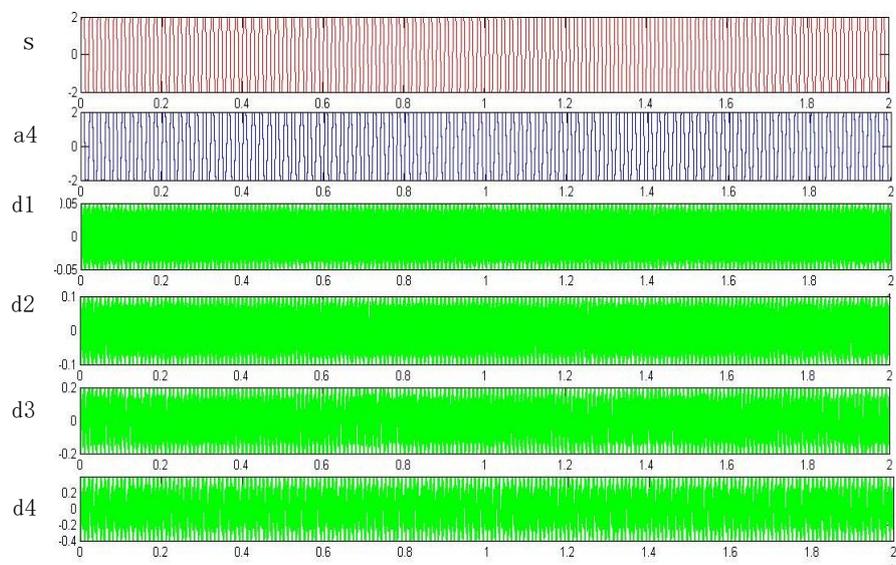
#### 4.2.4 Pengujian Arus Stator Motor pada beban 75%



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.4 dekomposisi sinyal wavelet haar arus stator pada beban 75% (a) kondisi motor normal, (b) kondisi motor eksentriistas 0,1 mm, (c) kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm

Gambar 4.4 menunjukkan adanya perbedaan bentuk sinyal antara motor normal dengan motor rusak atau yang telah mengalami rekontruksi celah udara, namun pada beban 75% jumlah *ripple* semakin banyak atau padat sehingga mempengaruhi bentuk dari sinyal detail 1 sampai ke detail 4 di masing-masing kondisi motor. Ini menyebabkan pendeteksian eksentrisitas tidak begitu terlihat

kelas, maka dilakukan perhitungan daya rata-rata. Berikut ini adalah hasil nilai daya rata-rata

Tabel 4.8 Daya Rata-Rata sinyal wavelet haar pada beban 75%

Parameter kerusakan Motor beban 75%	Daya			
	D1	D2	D3	D4
Kondisi motor normal	0.0024	0.0093	0.0348	0.1220
Kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm	0.0026	0.0104	0.0407	0.1555
Kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm	0.0020	0.0080	0.0314	0.1219

Dari tabel 4.8 menunjukkan nilai daya rata-rata yang lebih tinggi dibandingkan pada beban 50% untuk setiap kondisi motor. Namun hasil di atas juga menunjukkan hal yang sama dengan beban-beban sebelumnya yaitu kondisi eksentrisitas 0,1 mm mengalami kenaikan nilai daya rata-rata dari kondisi motor normal tapi berbanding terbalik untuk kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm. Setelah menghitung nilai daya rata-rata dari penguraian sinyal asli, kemudian dilakukan normalisasi. Dengan cara membagi Irms setiap kondisi motor.

$$\text{Irms motor normal} = 2.6713 \text{ A}$$

$$\text{Irms motor eksentrisitas 0,1 mm} = 2.5011 \text{ A}$$

$$\text{Irms motor eksentrisitas 0,2 mm} = 2.6899 \text{ A}$$

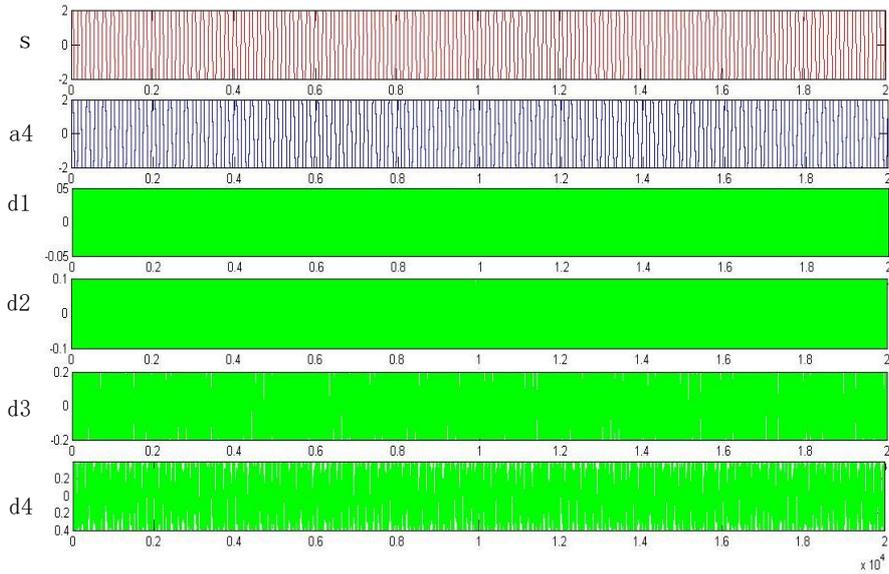
Tabel 4.9 Daya Rata-Rata wavelet haar dengan Irms pada beban 75%

Parameter kerusakan Motor beban 75%	Daya			
	D1	D2	D3	D4
Kondisi motor normal	$8.89 \times 10^{-4}$	0.0035	0.0130	0.0457
Kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm	0.0010	0.0042	0.0163	0.0622
Kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm	$7.42 \times 10^{-4}$	0.0030	0.0117	0.0453

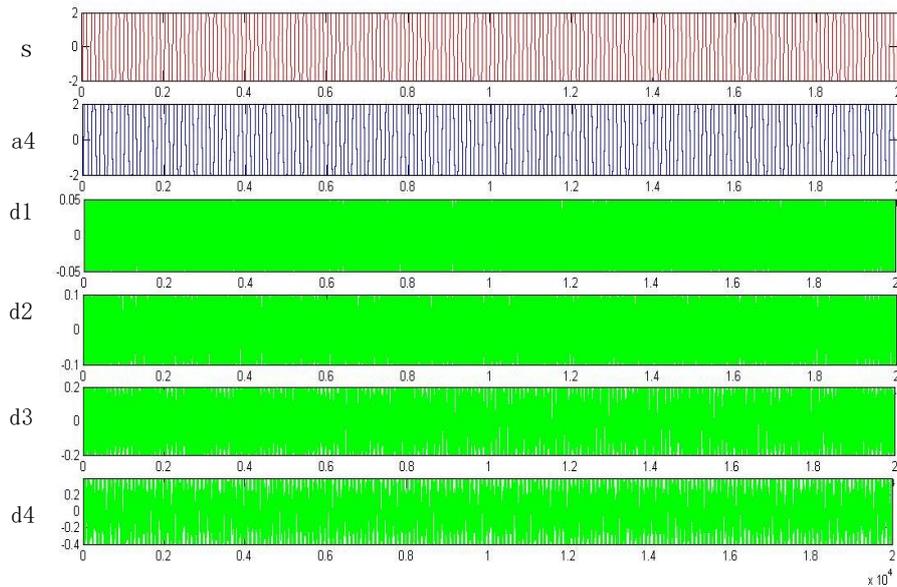
Tabel 4.9 menunjukkan hasil yang lebih kecil dibandingkan dengan nilai daya rata-rata sebelumnya, untuk dapat mendeteksi adanya eksentrisitas celah udara

yaitu melihat nilai daya rata-rata kondisi motor eksentristas dengan kondisi motor normal. namun sebelum itu yang dilakukan adalah melihat seluruh nilai daya rata-rata kondisi motor normal yang paling kecil setiap bebannya, ini dilakukan untuk mendapatkan acuan dalam pendetksian eksentristas celah udara.

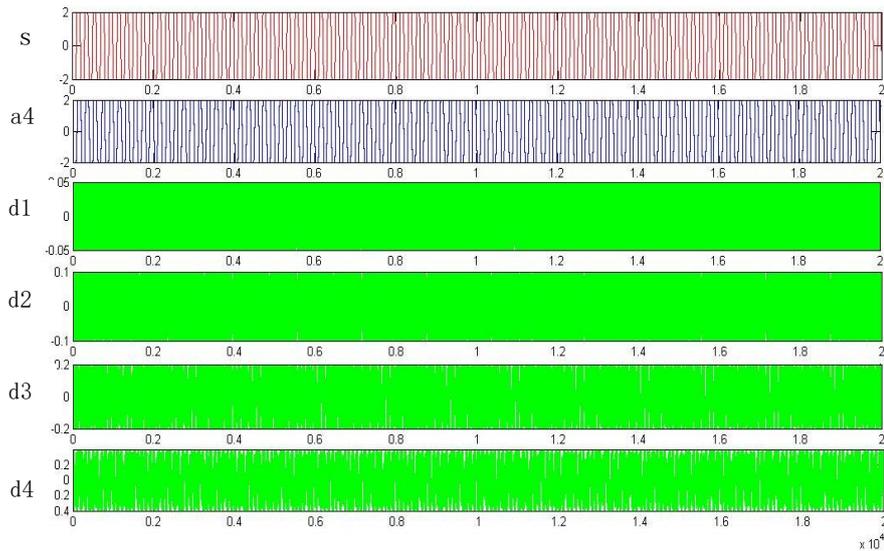
#### 4.2.5 Pengujian Arus Stator Motor pada Beban 100%



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.5 dekomposisi sinyal wavelet haar arus stator pada beban 100% (a) kondisi motor normal, (b) kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm, (c) kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm

Dari gambar 4.5 di atas pada beban 100% bentuk sinyal yang telah diuraikan dari sinyal asli menunjukkan bentuk sinyal yang banyak atau padat dengan skala yang sama pada beban-beban motor sebelumnya, secara visualisasi kondisi motor normal dan motor eksentrisitas tidak begitu jelas terlihat adanya perbedaan bentuk sinyal untuk beban 100%. Maka dilakukan perhitungan nilai daya rata-rata seperti pada beban-beban motor sebelumnya.

Tabel 4.10 Daya Rata-Rata sinyal wavelet haar pada beban 100%

Parameter kerusakan Motor beban 100%	Daya			
	D1	D2	D3	D4
Kondisi motor normal	0.0040	0.0156	0.0576	0.1975
Kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm	0.0040	0.0158	0.0620	0.2366
Kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm	0.0031	0.0122	0.0479	0.1839

Tabel di atas menunjukkan nilai daya rata-rata yang semakin meningkat dari nilai daya rata-rata pada beban-beban sebelumnya. Di setiap kondisi motor baik itu motor normal maupun motor eksentrisitas nilai daya rata-rata dari d1-d4

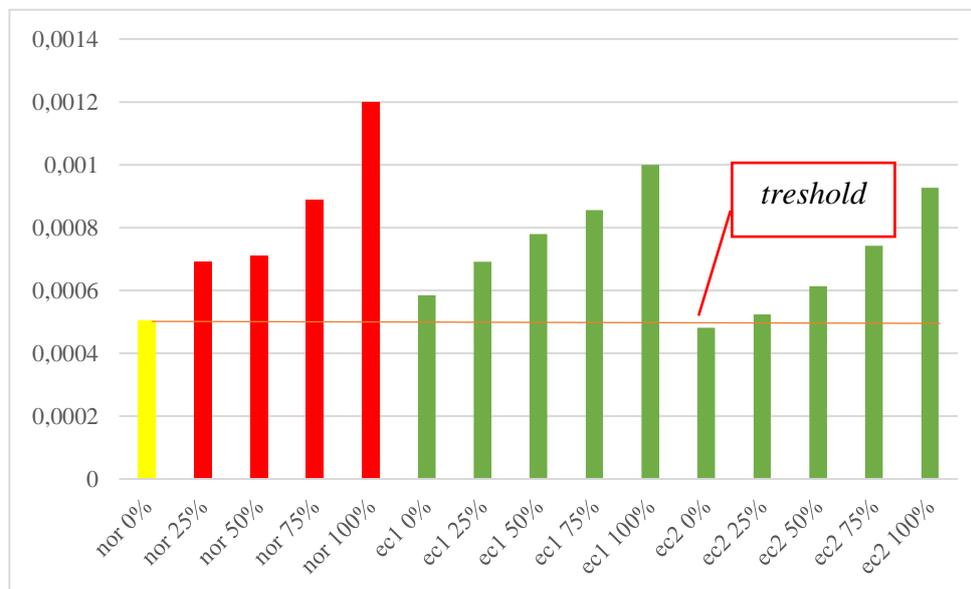
semakin meningkat. Namun dalam pendeteksian eksentrisitas celah udara dilakukan adanya normalisasi, normalisasi dilakukan dengan mencari nilai I rms setiap kondisi motor kemudian nilai daya rata-ratanya dibagikan dengan nilai I rms. Berikut ini adalah hasil nilai normalisasi dengan I rms.

Irms motor normal = 3.4040 A  
 Irms motor eksentrisitas 0,1 mm = 3.2152 A  
 Irms motor eksentrisitas 0,2 mm = 3.3192 A

Tabel 4.11 Daya Rata-Rata wavelet haar dengan Irms pada beban 100%

Parameter kerusakan Motor beban 100%	Daya			
	D1	D2	D3	D4
Kondisi motor normal	0.0012	0.0046	0.0169	0.0580
Kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm	0.0012	0.0049	0.0193	0.0736
Kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm	$9.27 \times 10^{-4}$	0.0037	0.0144	0.0554

Setelah mendapatkan nilai normalisasi dengan I rms pada beban 100% di setiap detailnya, maka selanjutnya yaitu mencari nilai *threshol* untuk dapat mendeteksi adanya kerusakan motor eksentrisitas. Untuk memudahkan dalam pendeteksian eksentrisitas motor dapat dilihat pada gambar di bawah ini



Gambar 4.6 Grafik nilai *threshol* pada d1 filter wavelet haar

Untuk mendapatkan nilai *threshol* dengan cara mencari nilai terkecil pada kondisi motor normal beban 0% sampai beban 100%, gambar diatas menunjukkan bahwa nilai yang paling rendah atau terkecil terdapat pada kondisi motor normal tanpa beban yaitu  $5,03 \times 10^{-4}$ . Inilah yang akan menjadi acuan perbandingan di setiap kerusakan motor yaitu eksentrisitas 0,1 mm dan eksentrisitas 0,2 mm. Motor akan terdeteksi adanya kerusakan apabila nilai daya yang sudah dinormalisasi lebih rendah dari nilai acuan. Gambar di atas adalah nilai *threshol* pada detail 1 wavelet haar. Nilai *threshol* di setiap detail berbeda-beda sehingga dapat menghasilkan persentase keberhasilan deteksi di setiap detail 1 sampai detail 4 wavelet haar yang berbeda. Hasil analisa dari deteksi eksentrisitas celah udara dengan dekomposisi transform wavelet haar dengan efek pembebanan dapat ditunjukkan pada tabel 4.12.

Tabel 4.12 Perbandingan nilai normalisasi daya rata-rata dengan dekomposisi wavelet haar

Parameter kerusakan	Beban	Daya				Ket-			
		D1	D2	D3	D4	D1	D2	D3	D4
normal	0%	$5.03 \times 10^{-4}$	0.0020	0.0079	0.0302				
eks 0,1 mm		$5.85 \times 10^{-4}$	0.0023	0.0091	0.0334	0	0	0	0
eks 0,2 mm		$4.81 \times 10^{-4}$	0.0019	0.0077	0.0300	1	1	1	1
normal	25%	$5.91 \times 10^{-4}$	0.0023	0.0089	0.0331				
eks 0,1 mm		$8.02 \times 10^{-4}$	0.0032	0.0125	0.0462	0	0	0	0
eks 0,2 mm		$5.23 \times 10^{-4}$	0.0021	0.0083	0.0324	0	0	0	0
normal	50%	$7.10 \times 10^{-4}$	0.0028	0.0105	0.0379				
eks 0,1 mm		$9.48 \times 10^{-4}$	0.0038	0.0151	0.0568	0	0	0	0
eks 0,2 mm		$6.14 \times 10^{-4}$	0.0025	0.0097	0.0379	0	0	0	0
normal	75%	$8.89 \times 10^{-4}$	0.0035	0.0130	0.0457				
eks 0,1 mm		0.0010	0.0042	0.0163	0.0622	0	0	0	0
eks 0,2 mm		$7.42 \times 10^{-4}$	0.0030	0.0117	0.0453	0	0	0	0
normal	100%	0.0012	0.0046	0.0169	0.0580				
eks 0,1 mm		0.0012	0.0049	0.0193	0.0736	0	0	0	0
eks 0,2 mm		$9.27 \times 10^{-4}$	0.0037	0.0144	0.0554	0	0	0	0

Ket : 0 - Tidak ada terdeteksi pada kondisi eksentrisitas  
1 – terdeteksi kondisi eksentrisitas

Untuk melihat Persentase keberhasilannya yaitu

$$\% = \frac{\text{jumlah terdeteksi eksentrisitas}}{\text{jumlah case}} \times 100$$

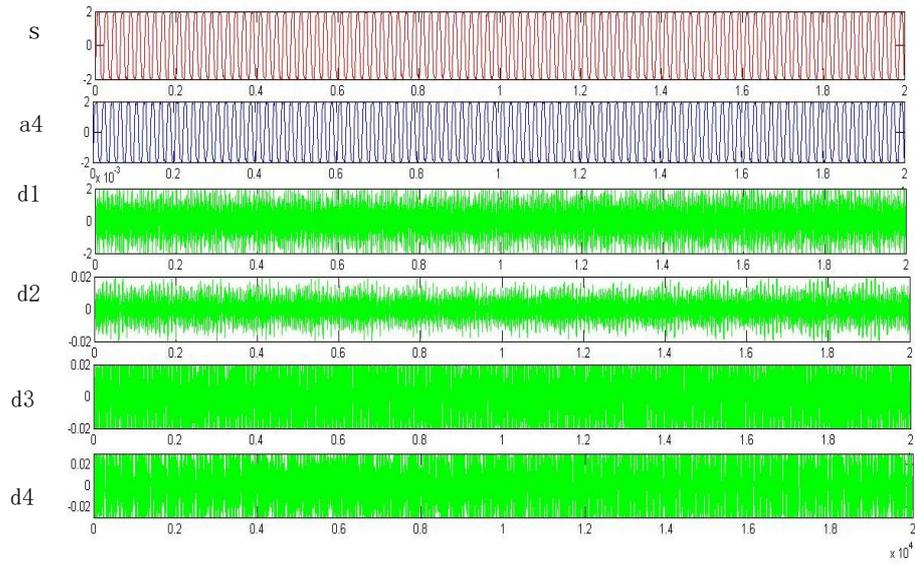
Persentase keberhasilan pendeteksian eksentrisitas celah udara yang didapatkan di setiap detail sama yaitu d1, d2, d3 dan d4 yaitu sebesar 10%.. Untuk wavelet jenis haar tingkat persentase keberhasilan pendeteksian sangat rendah.

Dari tabel4.12, cara pendeteksiannya yaitu dengan mencari nilai daya rata-rata yang paling kecil pada kondisi motor normal di setiap beban motor mulai dari beban 0%-100%. Kemudian nilai daya rata-rata yang paling kecil dibandingkan dengan setiap kondisi motor rusak atau eksentrisitas celah udara. pendeteksian ini mulai dari d1-d4. Apabila nilai daya rata-rata motor eksentrisitas lebih kecil atau mengalami penurunan dari nilai daya rata-rata kondisi motor normal maka sistem pendeteksian berhasil.

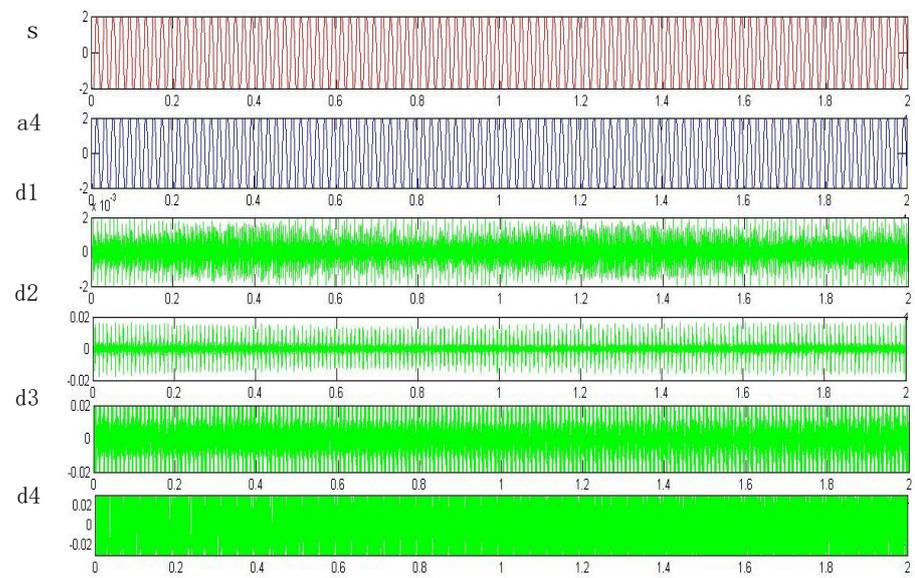
### **4.3 Pengujian Sinyal Menggunakan Metode wavelet *daubechies* (db)**

Sama seperti metode wavelet haar, melalui *listing* program matlab wavelet *deubeches* juga menggunakan *decomposition transform wavelet*. sinyal utama yaitu arus stator akan diuraikan ke bentuk sinyal yang diinginkan sesuai dengan level yang akan digunakan untuk wavelet db. Untuk pengujian ini, level yang akan digunakan sama dengan wavelet haar yaitu level 4.

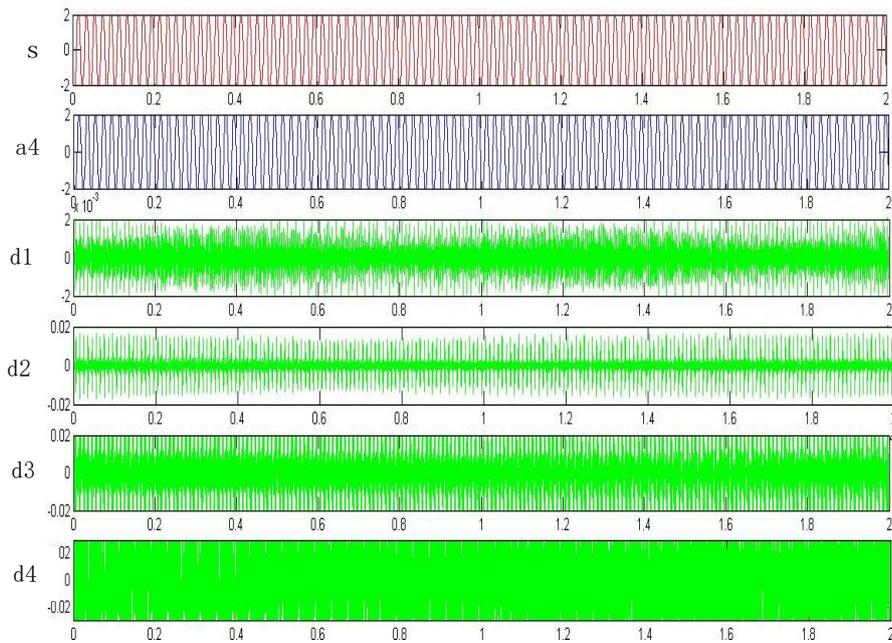
### 4.3.1 Pengujian Arus Stator Pada Beban 0%



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.7 dekomposisi sinyal wavelet db arus stator pada beban 0% (a) kondisi motor normal, (b) kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm, (c) kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm

Dari gambar 4.7, menunjukkan adanya perbedaan bentuk sinyal antara kondisi motor normal dan kondisi motor yang telah direkonstruksi celah udara. penguraian sinyal dari d1-d4 pada motor normal dibandingkan dengan motor rusak untuk melihat adanya pendeteksian eksentrisitas. Secara visualisasi terlihat perbedaan bentuk sinyal atau jumlah *ripple*. Tapi untuk mendapatkan hasil yang lebih jelas, maka dilakukan perhitungan jumlah *ripple* dengan persamaan daya rata-rata.

Tabel 4.13 Daya Rata-Rata sinyal wavelet daubechies pada beban 0%

Parameter kerusakan	Daya			
	D1	D2	D3	D4
Kondisi motor normal	$5.12 \times 10^{-7}$	$2.99 \times 10^{-5}$	$4.02 \times 10^{-4}$	$7.96 \times 10^{-4}$
Kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm	$2.70 \times 10^{-7}$	$1.51 \times 10^{-5}$	$7.25 \times 10^{-4}$	$1.05 \times 10^{-2}$
Kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm	$1.08 \times 10^{-7}$	$1.66 \times 10^{-6}$	$2.69 \times 10^{-5}$	$6.65 \times 10^{-4}$

Tabel 4.13 menunjukkan nilai daya rata-rata untuk d1 dan d2 terlihat adanya penurunan nilai daya rata-rata kondisi motor rusak dari kondisi motor normal, sedangkan untuk d3 dan d4 pendeteksian eksentrisitas hanya pada kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm. Sama dengan metode wavelet jeis haar, akan dilakukan normalisasi dengan mencari nilai I rms setiap kondisi motor setelah itu dibagikan dengan nilai daya rata-rata. Berikut ini adalah hasil nilai daya rata-rata dengan I rms

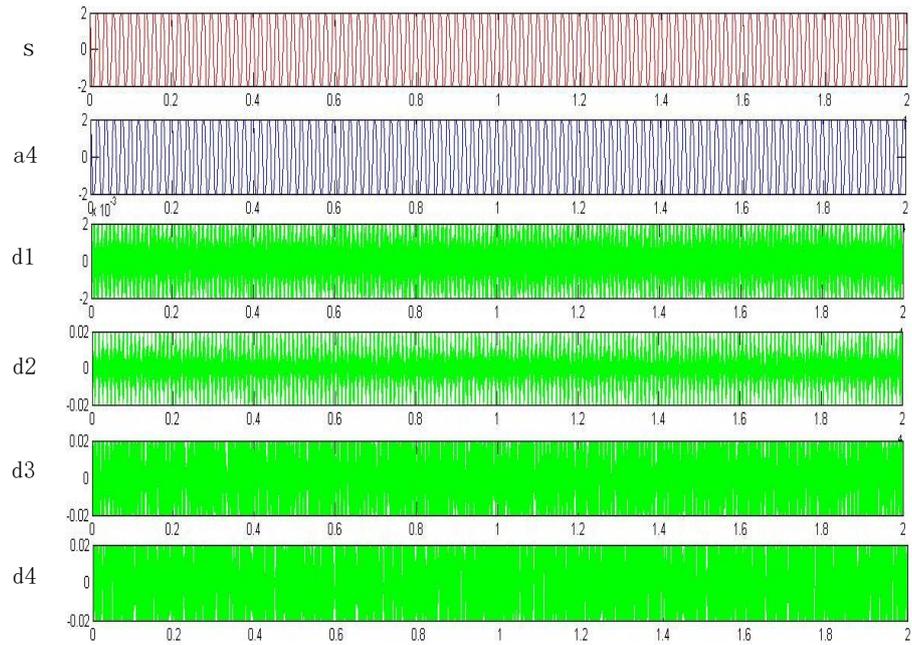
Irms motor normal	=	1.6215 A
Irms motor eksentrisitas 0,1 mm	=	1.7692 A
Irms motor eksentrisitas 0,2 mm	=	1.6729 A

Tabel 4.14 Daya Rata-Rata wavelet daubechies dengan Irms pada beban 0%

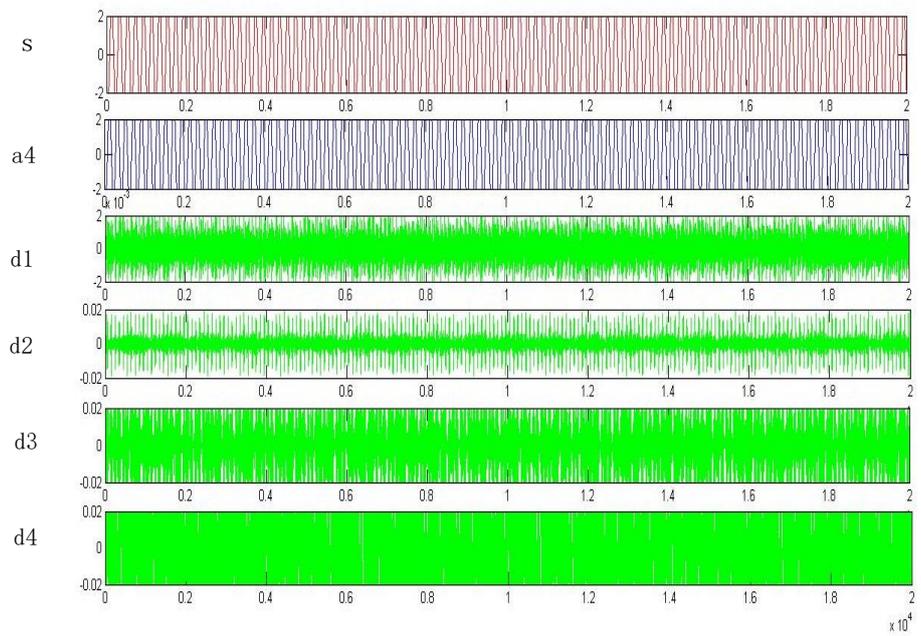
Parameter kerusakan	Daya			
	D1	D2	D3	D4
Kondisi motor normal	$3.19 \times 10^{-7}$	$1.93 \times 10^{-5}$	$2.67 \times 10^{-4}$	$5.06 \times 10^{-4}$
Kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm	$1.70 \times 10^{-7}$	$8.35 \times 10^{-6}$	$4.07 \times 10^{-4}$	$5.9 \times 10^{-3}$
Kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm	$7.85 \times 10^{-7}$	$1.02 \times 10^{-6}$	$1.58 \times 10^{-5}$	$3.92 \times 10^{-4}$

Tabel 4.14 menunjukkan hasil yang sama dengan sebelum dilakukan normalisasi, untuk hasil d1 dan d2 terlihat adanya penurunan nilai daya rata-rata untuk kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm dan 0,2 mm. Sedangkan d3 dan d4 hanya pada kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm. Ini semua akan dihitung pada tingkat persentase keberhasilan agar dapat mengetahui keberhasilan pendeteksian eksentrisitas celah udara.

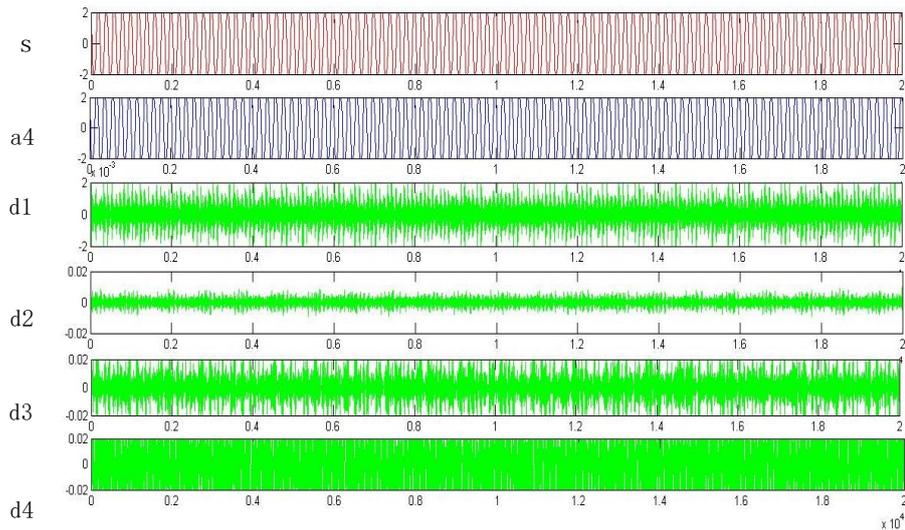
### 4.3.2 Pengujian Arus Stator pada Beban 25%



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.8 dekomposisi sinyal wavelet db arus stator pada beban 25% (a) kondisi motor normal, (b) kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm, (c) kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm

Gambar 4.8 juga menunjukkan adanya perbedaan bentuk sinyal antara motor rusak dan motor normal di setiap penguraian sinyal asli. Jumlah *ripple* pada setiap detail kondisi motor sangat berbeda, sehingga diperlukan perhitungan dengan persamaan daya rata-rata untuk setiap kondisi motor.

Tabel 4.15 Daya Rata-Rata sinyal wavelet daubechies pada beban 25%

Parameter kerusakan Motor beban 25%	Daya			
	D1	D2	D3	D4
Kondisi motor normal	$1.13 \times 10^{-6}$	$9.01 \times 10^{-5}$	$1.6 \times 10^{-3}$	$1.5 \times 10^{-3}$
Kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm	$5.46 \times 10^{-7}$	$2.25 \times 10^{-5}$	$1.1 \times 10^{-3}$	$1.44 \times 10^{-3}$
Kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm	$3.49 \times 10^{-7}$	$4.79 \times 10^{-6}$	$8.87 \times 10^{-5}$	$1.1 \times 10^{-3}$

Hasil analisa dari tabel 4.15 berbeda dengan hasil nilai daya rata-rata pada beban 0%, untuk beban 25% yang terlihat adanya penurunan yaitu pada d1 dan d3, untuk d2 dan d4 penurunan nilai daya rata-rata hanya terjadi pada kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm. Untuk mengurangi adanya *error* dilakukan normalisasi dengan

mencari nilai I rms. Hasil dari nilai normalisasi dapat dilihat pada tabel di bawah ini

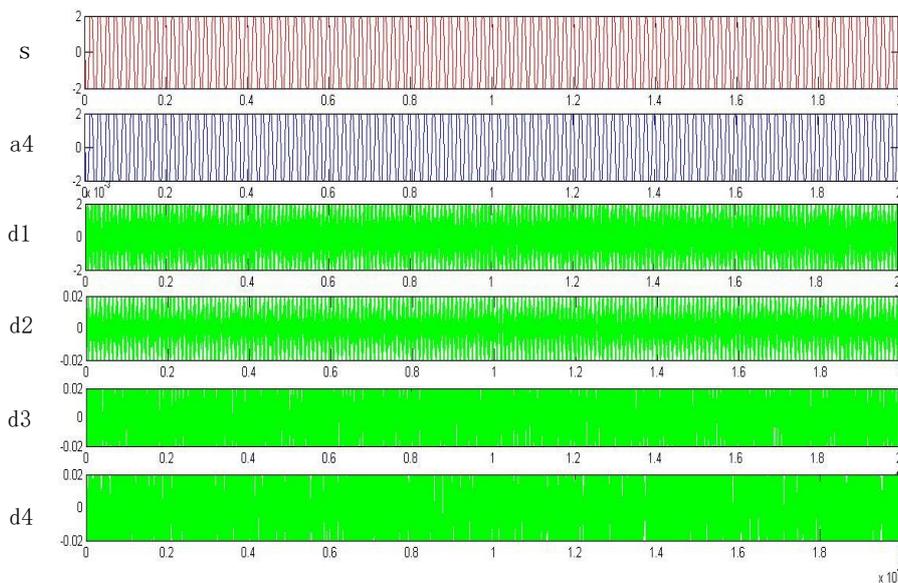
Irms motor normal	=	1.8192 A
Irms motor eksentrisitas 0,1 mm	=	1.8275 A
Irms motor eksentrisitas 0,2 mm	=	1.8036 A

Tabel 4.16 Daya Rata-Rata wavelet daubechies dengan Irms pada beban 25%

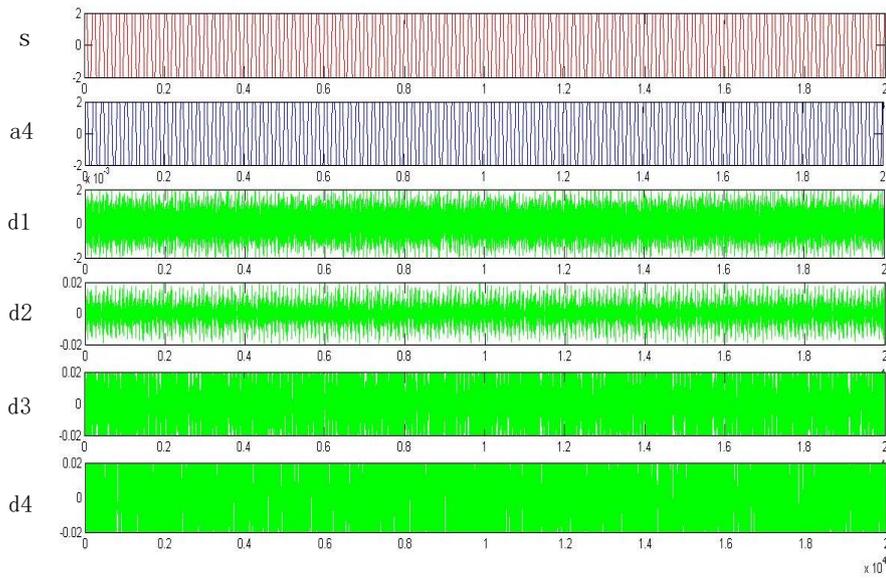
Parameter kerusakan Motor beban 25%	Daya			
	D1	D2	D3	D4
Kondisi motor normal	$6.26 \times 10^{-7}$	$4.95 \times 10^{-5}$	$8.78 \times 10^{-4}$	$8.18 \times 10^{-4}$
Kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm	$2.98 \times 10^{-7}$	$1.23 \times 10^{-5}$	$6.01 \times 10^{-5}$	$7.8 \times 10^{-4}$
Kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm	$1.93 \times 10^{-7}$	$2.65 \times 10^{-6}$	$4.92 \times 10^{-5}$	$6.16 \times 10^{-4}$

Setelah dilakukan normalisasi, hasil dari tabel di atas menunjukkan adanya eksentrisitas hanya terdapat pada detail 1. Sedangkan untuk detail 2 dan detail 3 adanya pendeteksian eksentrisitas hanya terdapat pada kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm.

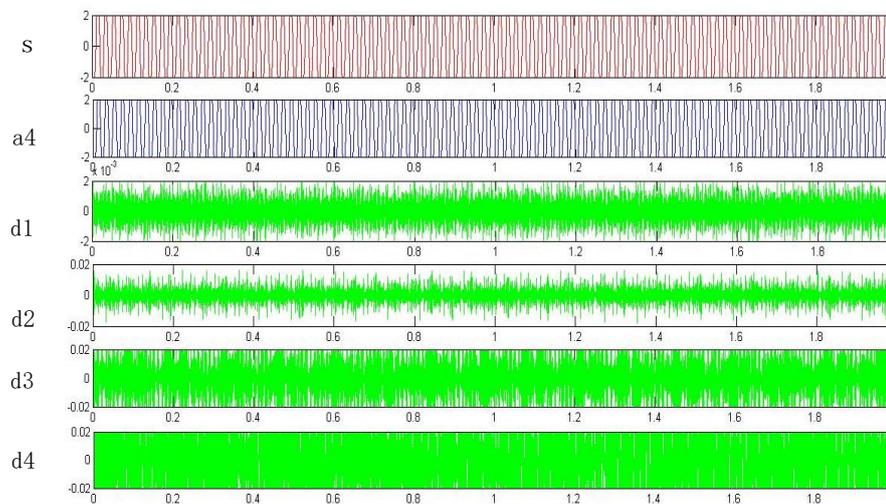
### 4.3.3 Pengujian Arus Stator Motor pada beban 50%



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.9 dekomposisi sinyal wavelet db arus stator pada beban 50% (a) kondisi motor normal, (b) kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm, (c) kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm

Hasil dari gambar 4.9 menunjukkan adanya perbedaan bentuk gambar dan jumlah *ripple* antara motor normal dan motor rusak, untuk dapat mendeteksi adanya eksentrisitas yang lebih jelas maka dilakukan pencuplikan sinyal setiap detail dengan mengambil range waktu yang sama dengan metode wavelet jenis haar yaitu

0,4 detik sampai 1,4 detik dan menghitung jumlah *ripple* dengan menggunakan persamaan daya rata-rata.

Tabel 4.17 Daya Rata-Rata sinyal wavelet daubechies pada beban 50%

Parameter kerusakan Motor beban 50%	Daya			
	D1	D2	D3	D4
Kondisi motor normal	$1.57 \times 10^{-6}$	$1.61 \times 10^{-4}$	$3.4 \times 10^{-3}$	$2.6 \times 10^{-3}$
Kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm	$5.16 \times 10^{-7}$	$3.36 \times 10^{-5}$	$1.2 \times 10^{-3}$	$1.33 \times 10^{-3}$
Kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm	$4.09 \times 10^{-7}$	$1.66 \times 10^{-5}$	$2.80 \times 10^{-4}$	$1.4 \times 10^{-3}$

Hasil dari tabel 4.17 menunjukkan adanya penurunan nilai daya rata-rata pada motor eksentrisitas dari motor normal di d1,d2 dan d3, sedangkan untuk d4 hanya terjadi pada kondisi motor eksentisitas 0,2 mm. Nilai dari daya rata-rata selanjutnya akan dilakukan normalisasi dengan menggunakan nilai I rms. Berikut ini adalah hasilnya

$$\text{Irms motor normal} = 2.1531 \text{ A}$$

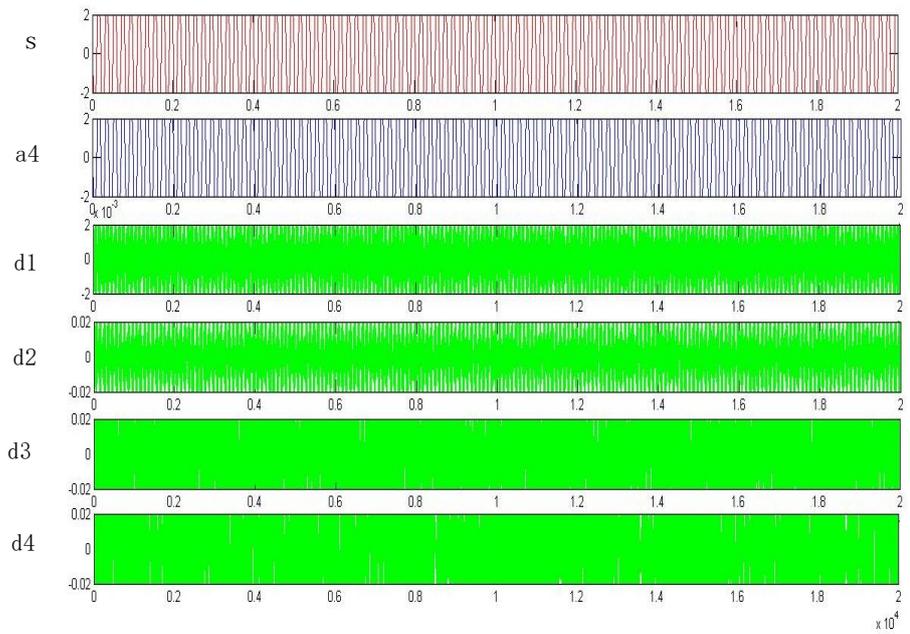
$$\text{Irms motor eksentrisitas 0,1 mm} = 2.1081 \text{ A}$$

$$\text{Irms motor eksentrisitas 0,2 mm} = 2.1946 \text{ A}$$

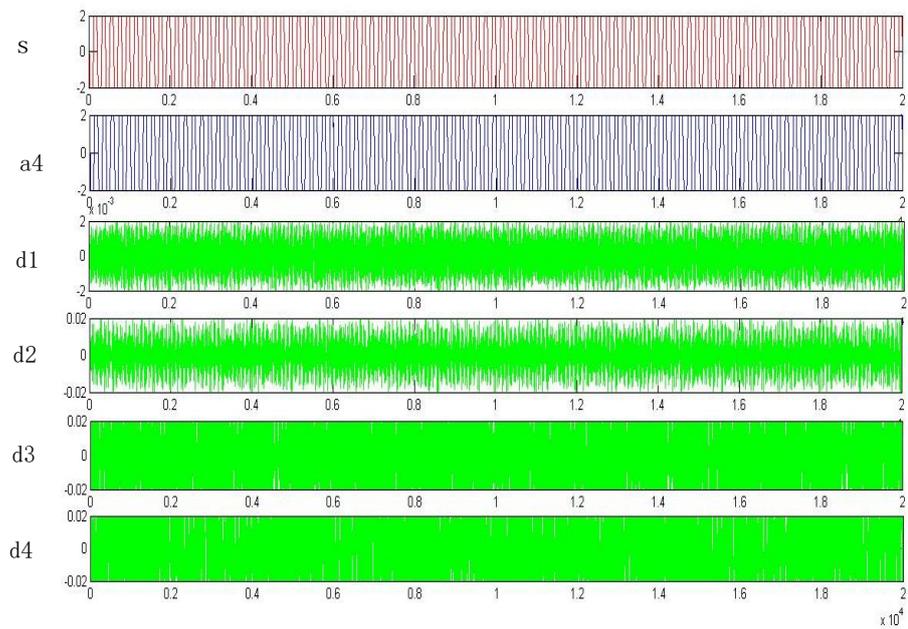
Tabel 4.18 Daya Rata-Rata wavelet daubechies dengan Irms pada beban 50%

Parameter kerusakan Motor beban 50%	Daya			
	D1	D2	D3	D4
Kondisi motor normal	$7.30 \times 10^{-7}$	$7.51 \times 10^{-6}$	$1.6 \times 10^{-3}$	$1.2 \times 10^{-3}$
Kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm	$2.4 \times 10^{-7}$	$1.59 \times 10^{-5}$	$5.69 \times 10^{-4}$	$6.3 \times 10^{-4}$
Kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm	$1.86 \times 10^{-7}$	$7.59 \times 10^{-6}$	$1.27 \times 10^{-4}$	$6.24 \times 10^{-4}$

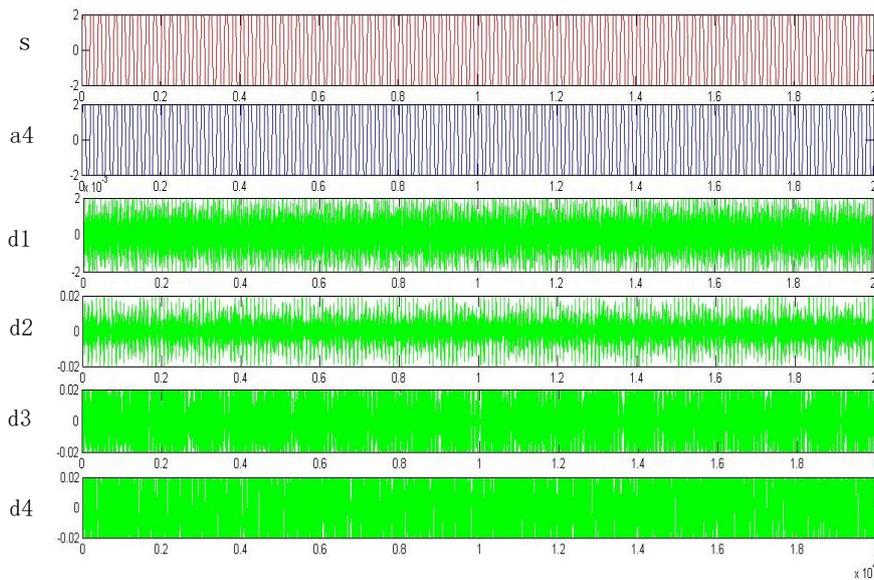
### 4.3.4 Pengujian Arus Stator Motor pada beban 75%



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.10 dekomposisi sinyal wavelet db arus stator pada beban 75% (a) kondisi motor normal, (b) kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm, (c) kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm

Hasil dari gambar 4.10, secara visualisasi dalam membandingkan antara kondisi motor normal dan kondisi motor rusak menunjukkan adanya perbedaan dan dibandingkan dengan sinyal pada beban-beban motor sebelumnya pada beban 75% jumlah *ripple* dan bentuk sinyal lebih banyak. Namun hasil visualisasi ini tidak begitu jelas, sehingga memerlukan perhitungan nilai daya rata-rata. Tabel 4.18 akan memperlihatkan hasil nilai daya rata-rata sedangkan tabel 4.19 akan memperlihatkan hasil dari nilai daya rata-rata menggunakan I rms.

Tabel 4.19 Daya Rata-Rata sinyal wavelet daubechies pada beban 75%

Parameter kerusakan Motor beban 75%	Daya			
	D1	D2	D3	D4
Kondisi motor normal	$2.70 \times 10^{-6}$	$2.90 \times 10^{-3}$	$6.5 \times 10^{-3}$	$4.7 \times 10^{-3}$
Kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm	$6.31 \times 10^{-7}$	$5.27 \times 10^{-5}$	$1.5 \times 10^{-3}$	$1.06 \times 10^{-3}$
Kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm	$5.91 \times 10^{-7}$	$4.21 \times 10^{-4}$	$7.71 \times 10^{-4}$	$2.1 \times 10^{-3}$

Irms motor normal = 2.6713 A

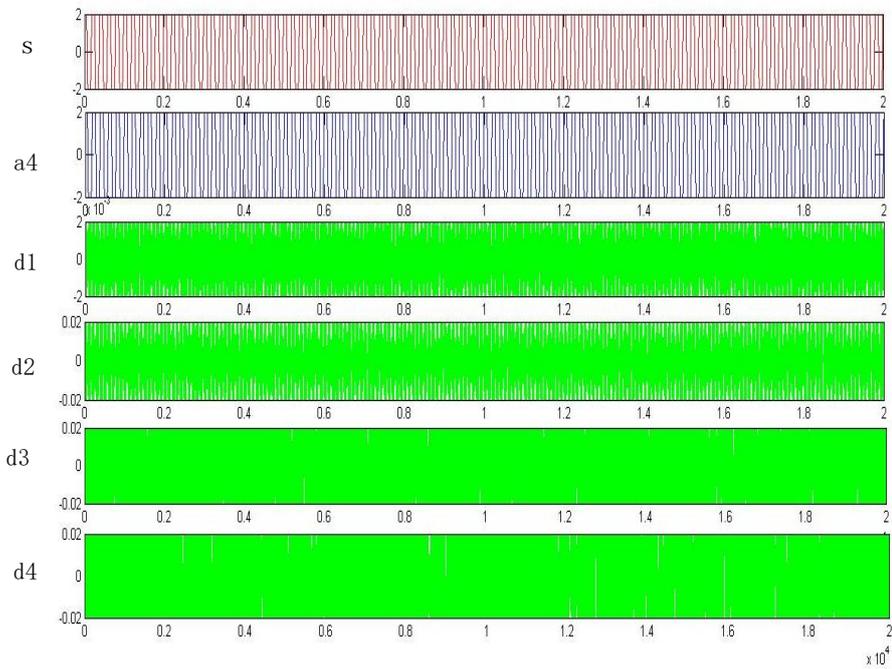
Irms motor eksentrisitas 0,1 mm = 2.5011 A

Irms motor eksentrisitas 0,2 mm = 2.6899 A

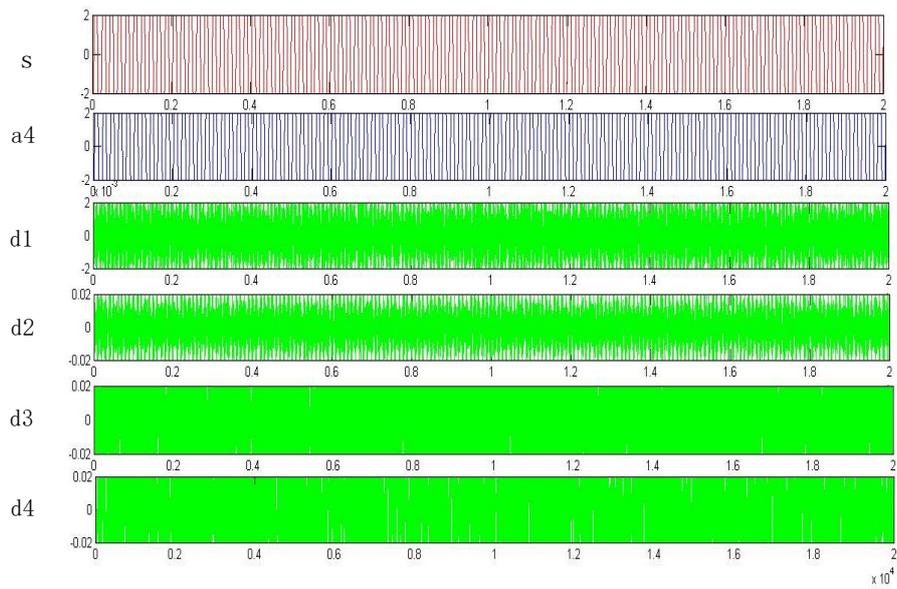
Tabel 4.20 Daya Rata-Rata wavelet daubechies dengan Irms pada beban 75%

Parameter kerusakan Motor beban 75%	Daya			
	D1	D2	D3	D4
Kondisi motor normal	$1.01 \times 10^{-6}$	$1.08 \times 10^{-4}$	$2.4 \times 10^{-3}$	$1.8 \times 10^{-3}$
Kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm	$2.52 \times 10^{-7}$	$2.1 \times 10^{-5}$	$5.9 \times 10^{-4}$	$4.2 \times 10^{-4}$
Kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm	$2.19 \times 10^{-7}$	$1.56 \times 10^{-5}$	$2.86 \times 10^{-4}$	$7.72 \times 10^{-7}$

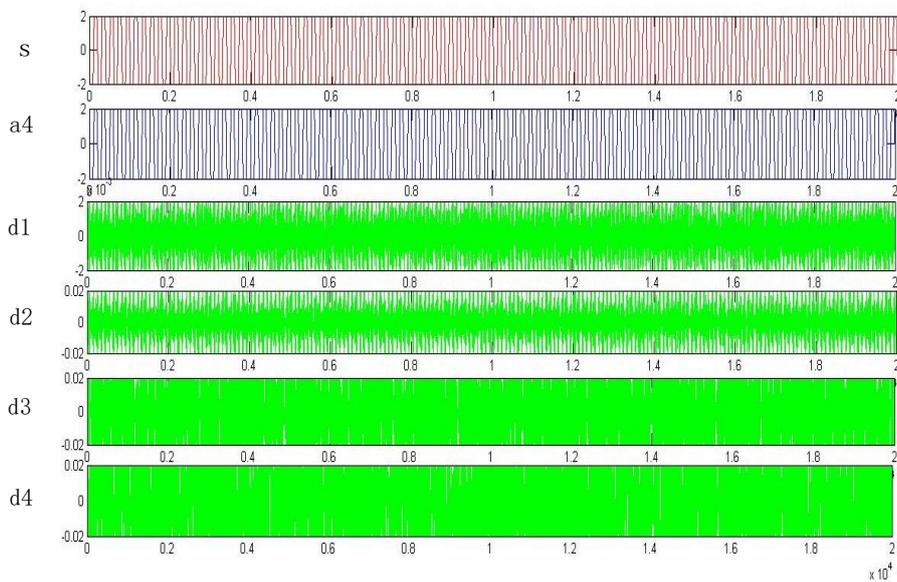
#### 4.3.5 Pengujian Arus Stator Motor pada Beban 100%



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.11 dekomposisi sinyal wavelet db arus stator pada beban 100% (a) kondisi motor normal, (b) kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm, (c) kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm

Gambar 4.11 di atas menunjukkan, bahwa beban semakin bertambah maka bentuk sinyal yang diuraikan terlihat lebih rapat atau jumlah *ripple* semakin banyak. Sehingga bila dibandingkan secara visual motor normal dengan motor rusak tidak

begitu jelas terlihat. Oleh karena itu dilakukan perhitungan daya rata-rata dan perhitungan normalisasi dengan  $I_{rms}$ . Hasil dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.21 Daya Rata-Rata sinyal wavelet daubechies pada beban 100%

Parameter kerusakan Motor beban 100%	Daya			
	D1	D2	D3	D4
Kondisi motor normal	$5.29 \times 10^{-6}$	$5.45 \times 10^{-4}$	$1.31 \times 10^{-3}$	$9.3 \times 10^{-3}$
Kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm	$1.16 \times 10^{-6}$	$1.14 \times 10^{-4}$	$2.8 \times 10^{-3}$	$9.7 \times 10^{-3}$
Kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm	$1.12 \times 10^{-6}$	$1.06 \times 10^{-4}$	$2.2 \times 10^{-3}$	$3.3 \times 10^{-3}$

$$I_{rms} \text{ motor normal} = 3.4040 \text{ A}$$

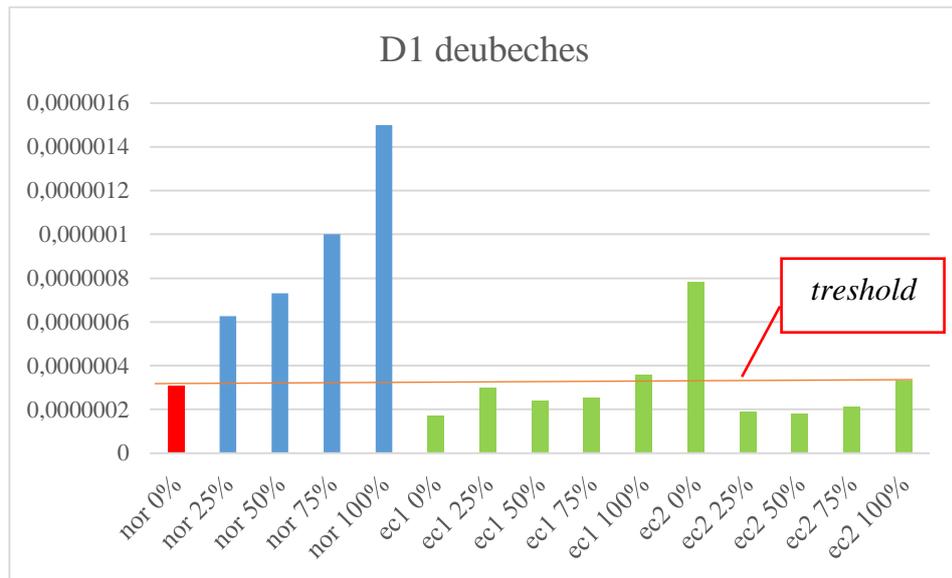
$$I_{rms} \text{ motor eksentrisitas 0,1 mm} = 3.2152 \text{ A}$$

$$I_{rms} \text{ motor eksentrisitas 0,2 mm} = 3.3192 \text{ A}$$

Tabel 4.22 Daya Rata-Rata wavelet daubechies dengan  $I_{rms}$  pada beban 100%

Parameter kerusakan Motor beban 100%	Daya			
	D1	D2	D3	D4
Kondisi motor normal	$1.55 \times 10^{-6}$	$1.60 \times 10^{-4}$	$3.8 \times 10^{-3}$	$2.7 \times 10^{-3}$
Kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm	$3.6 \times 10^{-7}$	$3.5 \times 10^{-5}$	$8.7 \times 10^{-4}$	$3.01 \times 10^{-3}$
Kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm	$3.39 \times 10^{-7}$	$3.19 \times 10^{-5}$	$6.69 \times 10^{-4}$	$1.0 \times 10^{-3}$

Setelah melakukan pengujian sinyal arus menggunakan wavelet db dan menghitung nilai daya rata-rata setiap beban mulai dari d1-d4. Kemudian dilakukan normalisasi, adanya normalisasi ini untuk mengurangi adanya kesalahan atau *error* dalam pendeteksian motor yang telah direkonstruksi celah udara. normalisasi dilakukan dengan mencari nilai  $I_{rms}$  pada setiap kondisi motor. Nilai  $I_{rms}$  yang dihasilkan juga berbeda-beda pada setiap beban motor. Setelah didapatkan nilai  $I_{rms}$ , hasil dari daya rata-rata ini dibagi dengan  $I_{rms}$ , kemudian mencari nilai *threshold* di setiap detail untuk memudahkan pendeteksian eksentrisitas.



Gambar 4.12 Grafik nilai *threshold* d1 pada wavelet deubeches

Gambar grafik diatas untuk memudahkan dalam mencari nilai *threshold* sehingga didapatkan nilai acuan sebesar  $3,19 \times 10^{-4}$  pada kondisi motor normal tanpa beban. Nilai ini akan menjadi acuan dalam mendeteksi untuk detail 1 wavelet deubeches. Gambar grafik 4.12 juga menunjukkan bahwa pada motor kondisi eksentrisitas 0,2 mm saat beban 0% tidak terdeteksi, disebabkan nilai daya sinyal yang melampaui batas *threshold* sehingga pada metode ini hanya dapat dilakukan pada saat kondisi motor berbeban. Pada tabel 4.22 adalah hasil normalisasi untuk seluruh beban dan kondisi motor yang telah di uji dan di setiap detail.Sama halnya dengan metode wavelet jenis haar, dari tabel 4.23 dilakukan pendeteksian eksentrisitas dengan mencari acuan atau nilai yang paling kecil pada kondisi motor normal setiap beban. Angka 0 dan 1 dilakukan untuk menghitung tingkat keberhasilan pendeteksian.

Untuk melihat Persentase keberhasilannya yaitu

$$\% = \frac{\text{jumlah terdeteksi eksentrisitas}}{\text{jumlah case}} \times 100$$

Dari tabel 4.23 persentase keberhasilan yang di dapatkan yaitu pada d1 sebesar 70% ,d2 sebesar 20%, d3 sebesar 30% sedangkan untuk d4 persentase keberhasilan yaitu 20%. Sistem pendeteksian dengan metode wavelet jenis

*deubeches* menghasilkan tingkat keberhasilan yang lebih besar dibandingkan dengan metode wavelet jenis haar.

Tabel 4.23 Perbandingan nilai normalisasi daya rata-rata dengan dekomposisi wavelet *deubeches*

Parameter kerusakan	Beban	Daya				Ket-			
		D1	D2	D3	D4	D1	D2	D3	D4
normal	0%	$3.19 \times 10^{-7}$	$1.93 \times 10^{-5}$	$2.67 \times 10^{-4}$	$5.06 \times 10^{-4}$				
eks 0,1 mm		$1.70 \times 10^{-7}$	$8.35 \times 10^{-6}$	$4.07 \times 10^{-4}$	$5.9 \times 10^{-3}$	1	0	0	0
eks 0,2 mm		$7.85 \times 10^{-7}$	$1.02 \times 10^{-6}$	$1.58 \times 10^{-5}$	$3.92 \times 10^{-4}$	0	1	1	1
normal	25%	$6.26 \times 10^{-7}$	$4.95 \times 10^{-5}$	$8.78 \times 10^{-4}$	$8.18 \times 10^{-4}$				
eks 0,1 mm		$2.98 \times 10^{-7}$	$1.23 \times 10^{-5}$	$6.01 \times 10^{-4}$	$7.8 \times 10^{-3}$	1	0	0	0
eks 0,2 mm		$1.93 \times 10^{-7}$	$2.65 \times 10^{-6}$	$4.92 \times 10^{-5}$	$6.16 \times 10^{-4}$	1	1	1	0
normal	50%	$7.30 \times 10^{-7}$	$7.51 \times 10^{-6}$	$1.6 \times 10^{-3}$	$1.2 \times 10^{-3}$				
eks 0,1 mm		$2.4 \times 10^{-7}$	$1.59 \times 10^{-5}$	$5.69 \times 10^{-4}$	$6.3 \times 10^{-4}$	1	0	0	0
eks 0,2 mm		$1.86 \times 10^{-7}$	$7.59 \times 10^{-6}$	$1.27 \times 10^{-4}$	$6.24 \times 10^{-4}$	1	0	1	0
normal	75%	$1.01 \times 10^{-6}$	$1.08 \times 10^{-4}$	$2.4 \times 10^{-3}$	$1.8 \times 10^{-3}$				
eks 0,1 mm		$2.52 \times 10^{-7}$	$2.1 \times 10^{-5}$	$5.9 \times 10^{-4}$	$4.2 \times 10^{-3}$	1	0	0	0
eks 0,2 mm		$2.19 \times 10^{-7}$	$1.56 \times 10^{-5}$	$2.86 \times 10^{-4}$	$7.72 \times 10^{-7}$	1	0	0	1
normal	100%	$1.55 \times 10^{-6}$	$1.60 \times 10^{-4}$	$3.8 \times 10^{-3}$	$2.7 \times 10^{-3}$				
eks 0,1 mm		$3.6 \times 10^{-7}$	$3.5 \times 10^{-5}$	$8.7 \times 10^{-4}$	$3.01 \times 10^{-3}$	0	0	0	0
eks 0,2 mm		$3.39 \times 10^{-7}$	$3.19 \times 10^{-5}$	$6.69 \times 10^{-4}$	$1.0 \times 10^{-3}$	0	0	0	0

Ket : 0 - Tidak ada terdeteksi pada kondisi eksentrisitas

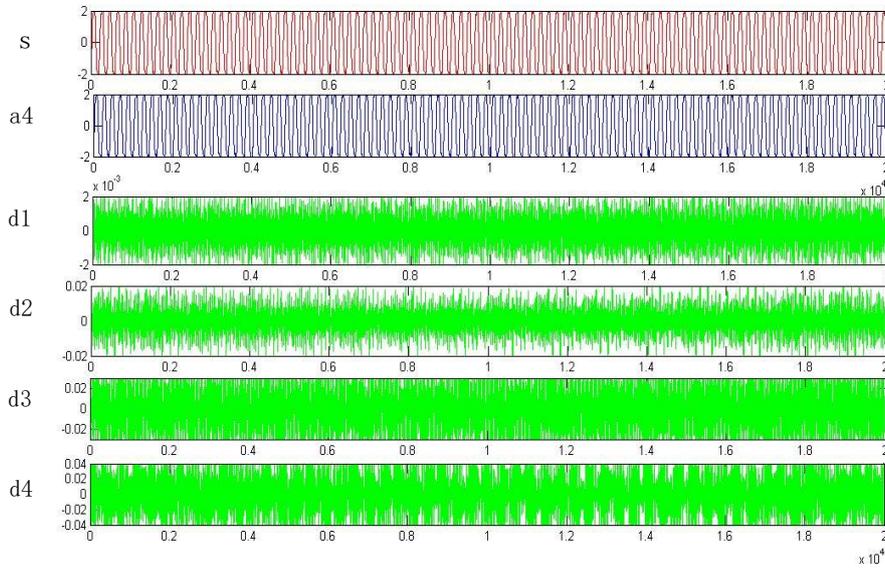
1 – terdeteksi kondisi eksentrisitas

#### 4.4 Pengujian Sinyal Menggunakan Metode wavelet *Symlets* (*sym*)

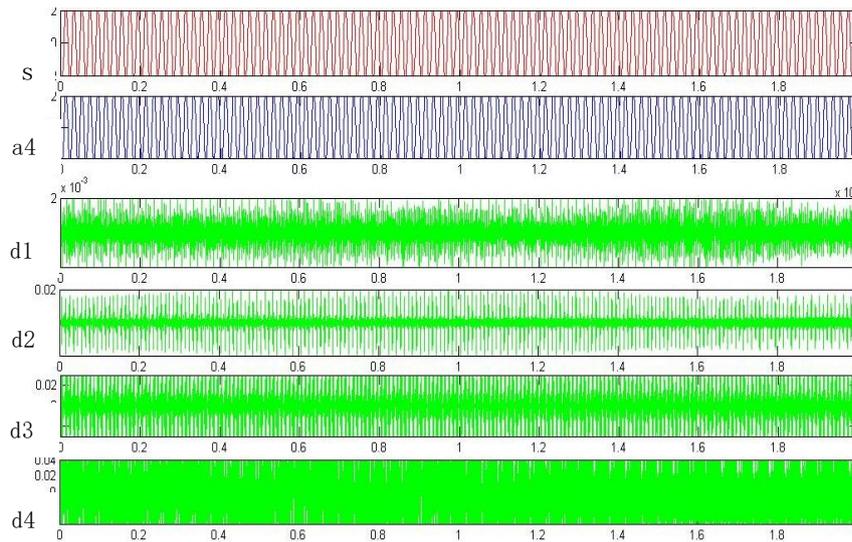
Dalam pengujian sinyal ini, dekomposisi yang digunakan yaitu *listing program* matlab menggunakan wavelet jenis *symlet* Sama seperti metode wavelet yang sebelumnya, sinyal utama yaitu arus stator akan diuraikan ke bentuk sinyal yang

diinginkan sesuai dengan level yang akan digunakan untuk wavelet db. Untuk pengujian ini, level yang akan digunakan sama dengan level 4.

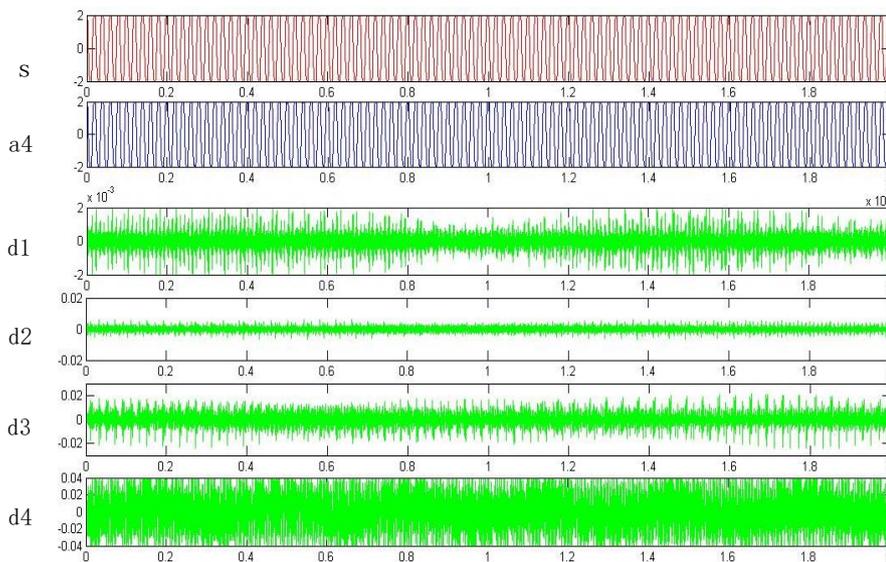
#### 4.4.1 Pengujian Arus Stator motor pada beban 0%



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.13 dekomposisi sinyal wavelet sym arus stator pada beban 0% (a) kondisi motor normal, (b) kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm, (c) kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm

Pada gambar 4.13, menunjukkan bentuk sinyal dari kondisi eksentrisitas 0,2 mm terlihat sangat berbeda dengan kondisi motor normal. secara visual bentuk sinyal pada kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm juga terlihat berbeda dengan motor normal. untuk dapat menunjukkan hasil yang lebih jelas, jumlah *ripple* yang ada pada setiap sinyal kondisi motor dihitung menggunakan persamaan daya rata-rata. Persamaan ini dilakukan dengan pencuplikan sinyal setiap detail dengan range waktu yang digunakan 0,4 detik sampai 1,4 detik. Range waktu yang digunakan sama dengan metode wavelet sebelumnya. Setelah dilakukan perhitungan nilai daya rata-rata, dilakukan lagi normalisasi dengan menggunakan nilai  $I_{rms}$ . Untuk nilai  $I_{rms}$  sendiri sama dengan sebelumnya. Hasil dari nilai daya rata-rata dan nilai normalisasi dapat dilihat pada tabel 4.24 dan tabel 4.25

Tabel 4.24 Daya Rata-Rata sinyal wavelet sym pada beban 0%

Parameter kerusakan	Daya			
	D1	D2	D3	D4
Kondisi motor normal	$5.17 \times 10^{-7}$	$3.13 \times 10^{-5}$	$4.33 \times 10^{-4}$	$8.18 \times 10^{-4}$
Kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm	$2.78 \times 10^{-7}$	$1.57 \times 10^{-5}$	$6.96 \times 10^{-4}$	$1.04 \times 10^{-2}$
Kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm	$1.48 \times 10^{-7}$	$1.58 \times 10^{-5}$	$2.66 \times 10^{-5}$	$6.46 \times 10^{-4}$

Irms motor normal = 1.6215 A

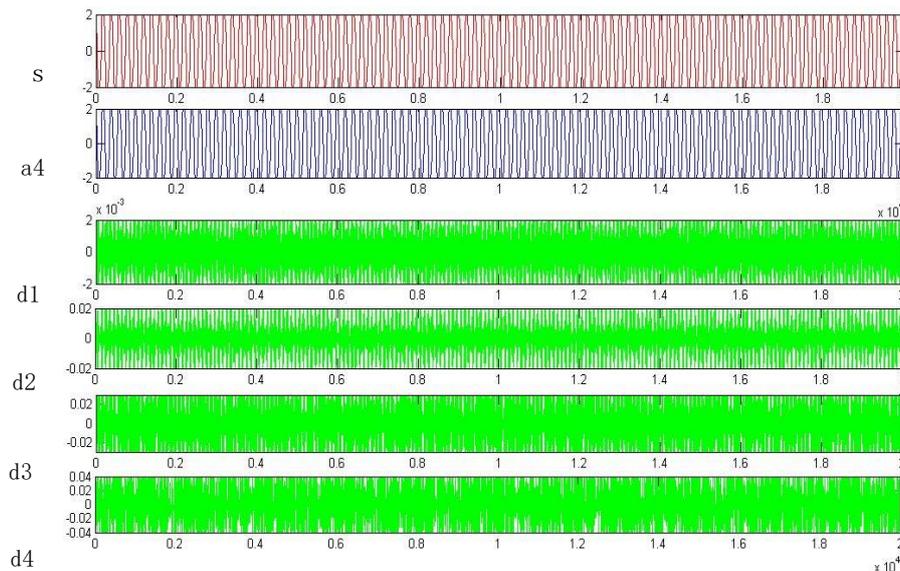
Irms motor eksentrisitas 0,1 mm = 1.7692 A

Irms motor eksentrisitas 0,2 mm = 1.6729 A

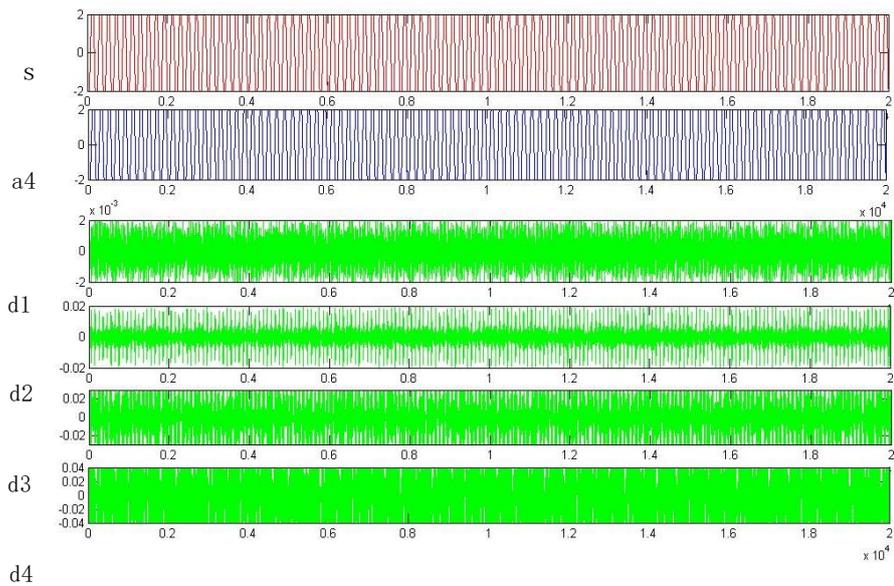
Tabel 4.25 Daya Rata-Rata wavelet sym dengan Irms pada beban 0%

Parameter kerusakan	Daya			
	D1	D2	D3	D4
Kondisi motor normal	$3.19 \times 10^{-7}$	$1.93 \times 10^{-5}$	$2.67 \times 10^{-4}$	$5.04 \times 10^{-4}$
Kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm	$1.57 \times 10^{-7}$	$8.89 \times 10^{-6}$	$3.93 \times 10^{-4}$	$5.9 \times 10^{-3}$
Kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm	$8.84 \times 10^{-8}$	$9.48 \times 10^{-3}$	$1.59 \times 10^{-5}$	$3.86 \times 10^{-4}$

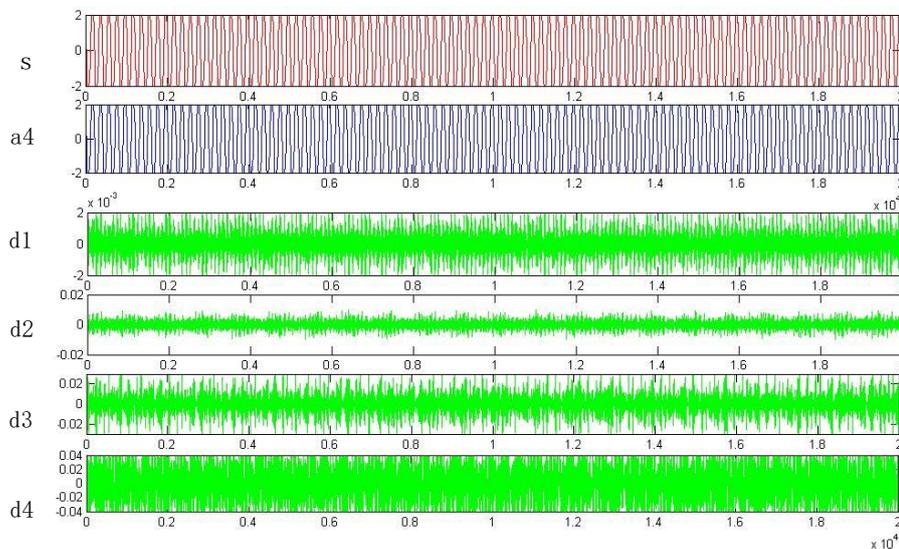
#### 4.4.2 Pengujian Arus Stator Motor pada Beban 25%



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.14 dekomposisi sinyal wavelet sym arus stator pada beban 25% (a) kondisi motor normal, (b) kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm, (c) kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm

Pada gambar 4.14, menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda dengan beban 0%. Bentuk sinyal dari kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm lebih kecil dibandingkan dengan kondisi motor normal. Untuk kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm terlihat bentuk sinyal yang lebih besar dari kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm. Di bawah ini adalah hasil dari nilai daya rata-rata.

Tabel 4.26 Daya Rata-Rata sinyal wavelet sym pada beban 25%

Parameter kerusakan Motor beban 25%	Daya			
	D1	D2	D3	D4
Kondisi motor normal	$1.14 \times 10^{-6}$	$9.01 \times 10^{-5}$	$1.6 \times 10^{-3}$	$1.5 \times 10^{-3}$
Kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm	$5.40 \times 10^{-7}$	$2.21 \times 10^{-5}$	$1.1 \times 10^{-3}$	$1.43 \times 10^{-2}$
Kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm	$3.55 \times 10^{-7}$	$4.82 \times 10^{-6}$	$8.88 \times 10^{-5}$	$1.1 \times 10^{-3}$

$$\text{Irms motor normal} = 1.8192 \text{ A}$$

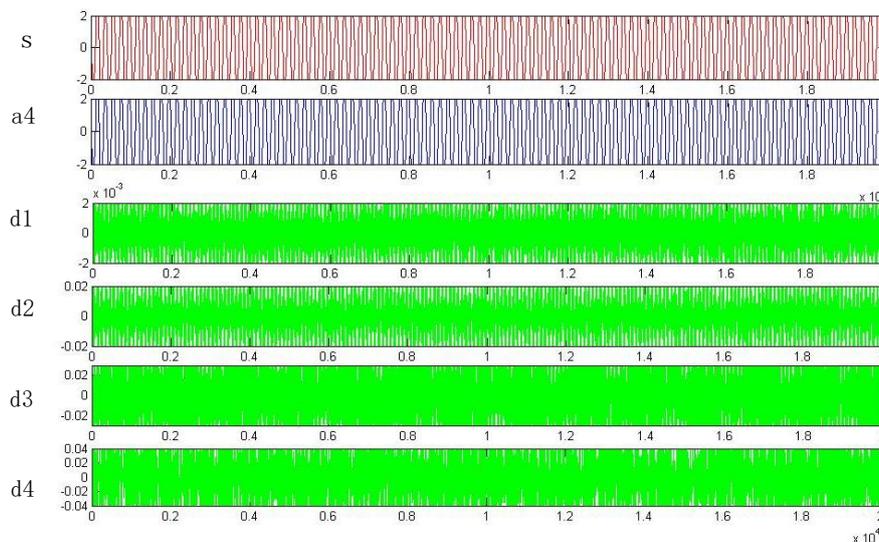
$$\text{Irms motor eksentrisitas 0,1 mm} = 1.8275 \text{ A}$$

$$\text{Irms motor eksentrisitas 0,2 mm} = 1.8036 \text{ A}$$

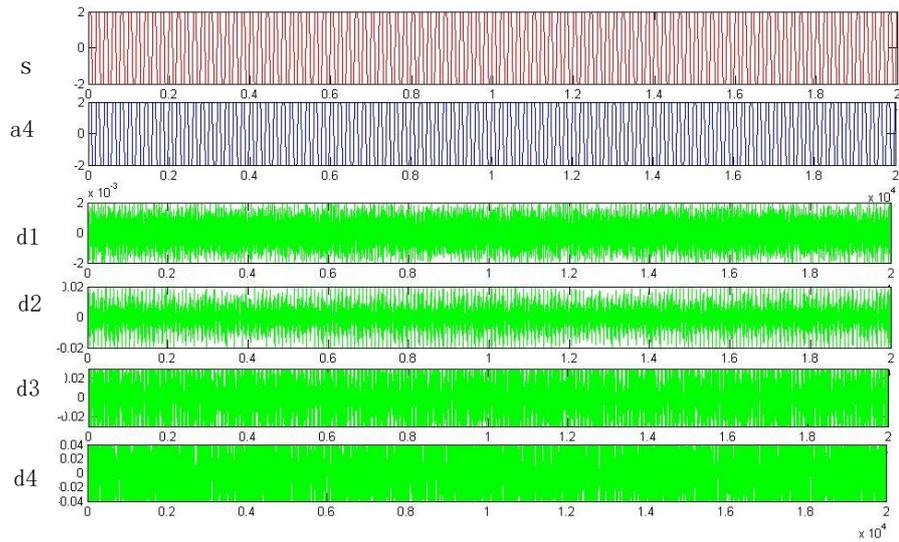
Tabel 4.27 Daya Rata-Rata wavelet sym dengan Irms pada beban 25%

Parameter kerusakan Motor beban 25%	Daya			
	D1	D2	D3	D4
Kondisi motor normal	$6.30 \times 10^{-7}$	$4.95 \times 10^{-5}$	$8.80 \times 10^{-4}$	$8.34 \times 10^{-4}$
Kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm	$2.95 \times 10^{-7}$	$1.2 \times 10^{-5}$	$6.01 \times 10^{-4}$	$7.82 \times 10^{-3}$
Kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm	$1.97 \times 10^{-7}$	$2.67 \times 10^{-6}$	$4.92 \times 10^{-5}$	$6.25 \times 10^{-4}$

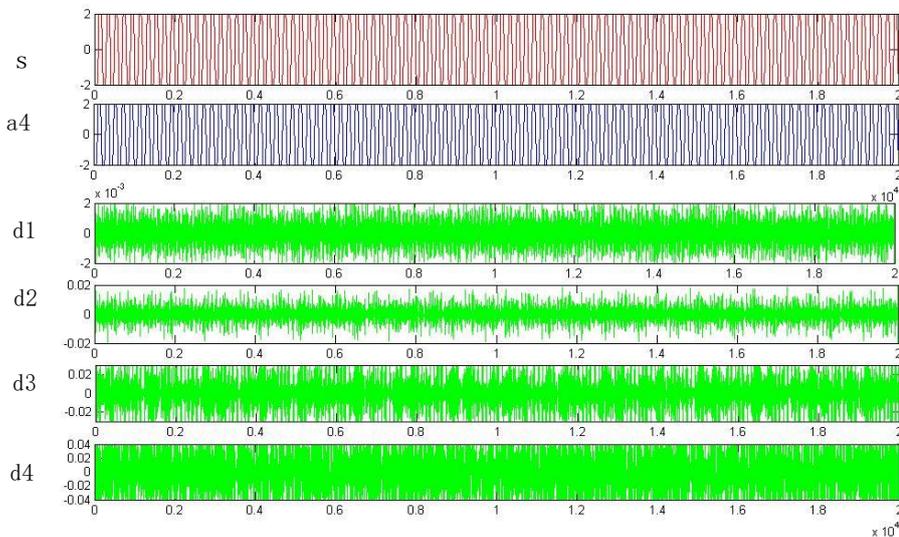
#### 4.4.3 Pengujian Arus Stator pada Beban 50%



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.15 dekomposisi sinyal wavelet sym arus stator pada beban 50% (a) kondisi motor normal, (b) kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm, (c) kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm

Hasil gambar 4.15 di atas yaitu semakin bertambah beban bentuk sinyal semakin padat atau jumlah *ripple* yang semakin banyak. Sehingga diperlukan adanya perhitungan nilai daya rata-rata untuk dapat melihat pendeteksian motor eksentrisitas. Range waktu dalam pencuplikan setiap detail yaitu 0,4 detik- 1,4 detik. Kemudian dilakukan normalisasi dengan menggunakan  $I_{rms}$ . Berikut ini adalah hasil perhitungan.

Tabel 4.28 Daya Rata-Rata sinyal wavelet sym pada beban 50%

Parameter kerusakan Motor beban 50%	Daya			
	D1	D2	D3	D4
Kondisi motor normal	$1.58 \times 10^{-6}$	$1.61 \times 10^{-3}$	$3.4 \times 10^{-3}$	$2.6 \times 10^{-3}$
Kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm	$5.11 \times 10^{-7}$	$3.35 \times 10^{-5}$	$1.2 \times 10^{-3}$	$1.35 \times 10^{-2}$
Kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm	$4.11 \times 10^{-7}$	$1.66 \times 10^{-5}$	$2.78 \times 10^{-3}$	$1.4 \times 10^{-3}$

Irms motor normal = 2.1531 A

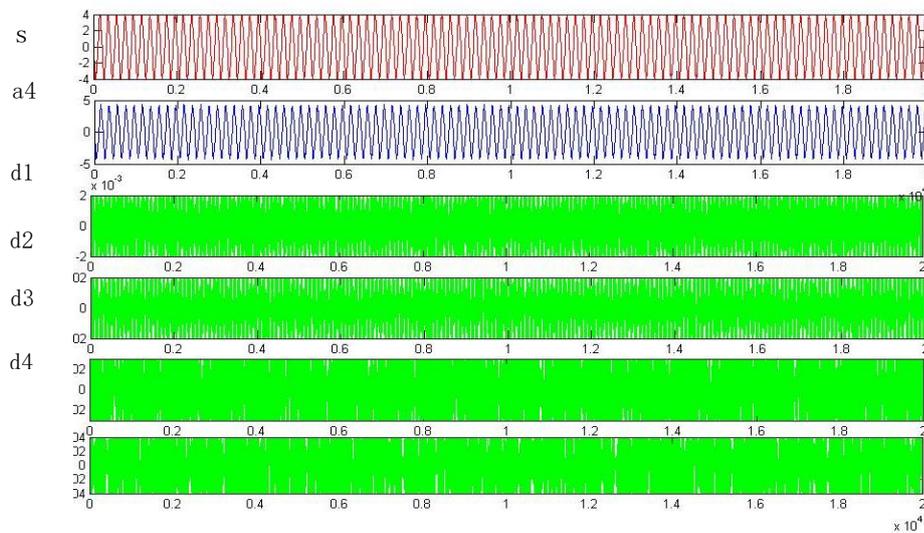
Irms motor eksentrisitas 0,1 mm = 2.1081 A

Irms motor eksentrisitas 0,2 mm = 2.1946 A

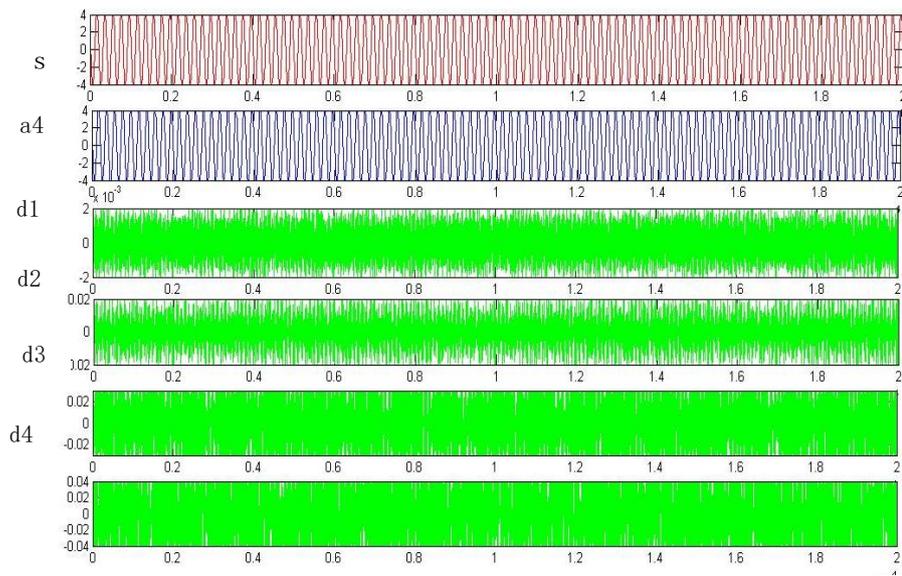
Tabel 4.29 Daya Rata-Rata wavelet sym dengan Irms pada beban 50%

Parameter kerusakan Motor beban 50%	Daya			
	D1	D2	D3	D4
Kondisi motor normal	$7.33 \times 10^{-7}$	$7.51 \times 10^{-5}$	$1.6 \times 10^{-3}$	$1.2 \times 10^{-3}$
Kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm	$2.42 \times 10^{-7}$	$1.58 \times 10^{-5}$	$5.69 \times 10^{-4}$	$6.4 \times 10^{-3}$
Kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm	$1.87 \times 10^{-7}$	$7.59 \times 10^{-6}$	$1.26 \times 10^{-4}$	$6.43 \times 10^{-3}$

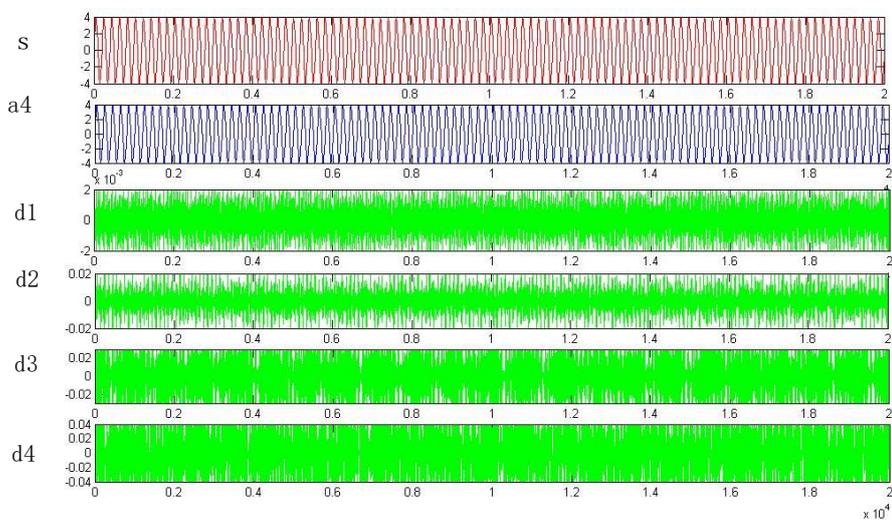
#### 4.4.4 Pengujian Arus Stator Motor pada Beban 75%



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.16 dekomposisi sinyal wavelet sym arus stator pada beban 75% (a) kondisi motor normal, (b) kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm, (c) kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm

Hasil analisa menggunakan metode wavelet *symlets* pada beban 75% yaitu terlihat adanya perbedaan bentuk sinyal antara kondisi motor normal dan kondisi motor rusak. namun untuk menghasilkan sistem deteksi eksentrisitas celah udara yang lebih jelas, hasil dari bentuk sinyal dilakukan perhitungan jumlah *ripple* menggunakan persamaan daya rata-rata.

Tabel 4.30 Daya Rata-Rata sinyal wavelet sym pada beban 75%

Parameter kerusakan Motor beban 75%	Daya			
	D1	D2	D3	D4
Kondisi motor normal	$2.70 \times 10^{-6}$	$2.91 \times 10^{-4}$	$6.6 \times 10^{-3}$	$4.7 \times 10^{-3}$
Kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm	$6.29 \times 10^{-7}$	$5.27 \times 10^{-5}$	$1.5 \times 10^{-3}$	$1.06 \times 10^{-2}$
Kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm	$5.94 \times 10^{-7}$	$4.20 \times 10^{-5}$	$7.71 \times 10^{-4}$	$2.1 \times 10^{-3}$

Irms motor normal = 2.6713 A

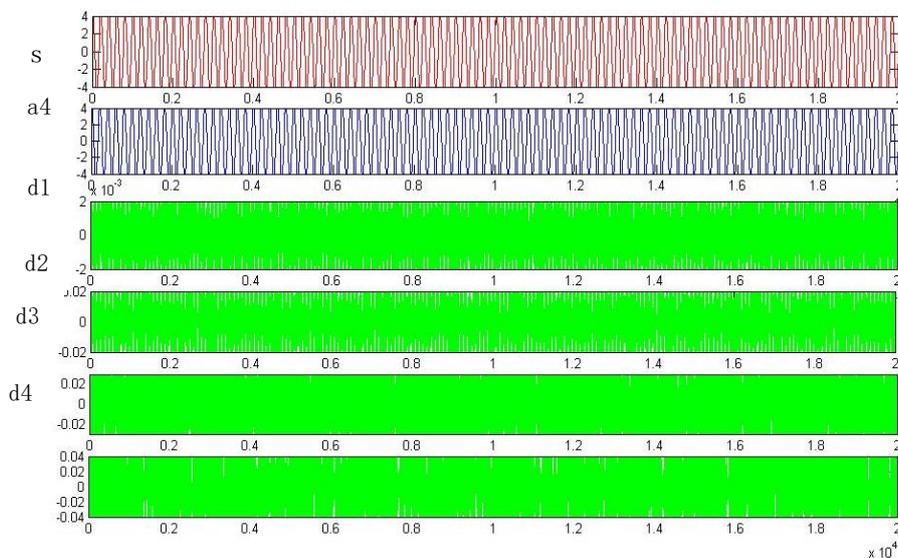
Irms motor eksentrisitas 0,1 mm = 2.5011 A

Irms motor eksentrisitas 0,2 mm = 2.6899 A

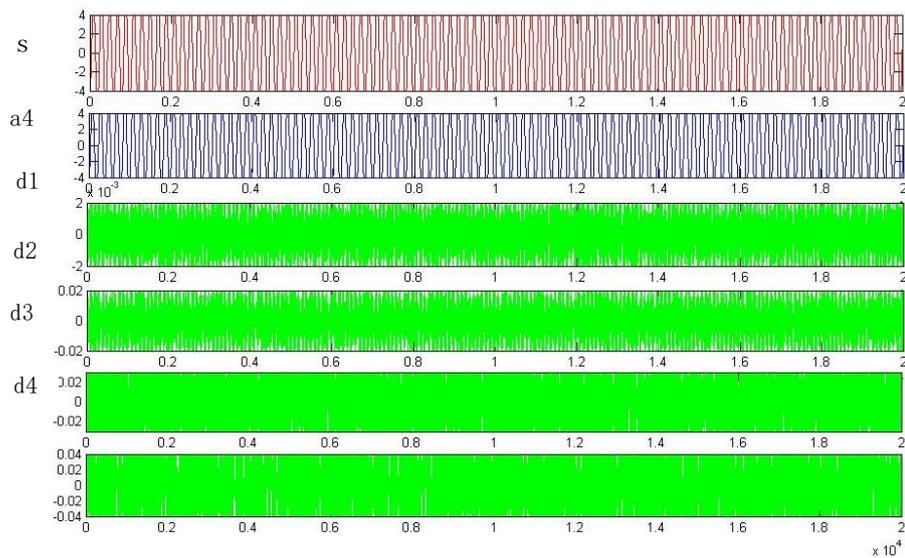
Tabel 4.31 Daya Rata-Rata wavelet sym dengan Irms pada beban 75%

Parameter kerusakan Motor beban 75%	Daya			
	D1	D2	D3	D4
Kondisi motor normal	$1.01 \times 10^{-6}$	$1.08 \times 10^{-4}$	$2.5 \times 10^{-3}$	$1.7 \times 10^{-3}$
Kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm	$2.51 \times 10^{-7}$	$2.10 \times 10^{-5}$	$5.9 \times 10^{-4}$	$4.23 \times 10^{-3}$
Kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm	$2.21 \times 10^{-7}$	$1.56 \times 10^{-5}$	$2.86 \times 10^{-4}$	$7.69 \times 10^{-4}$

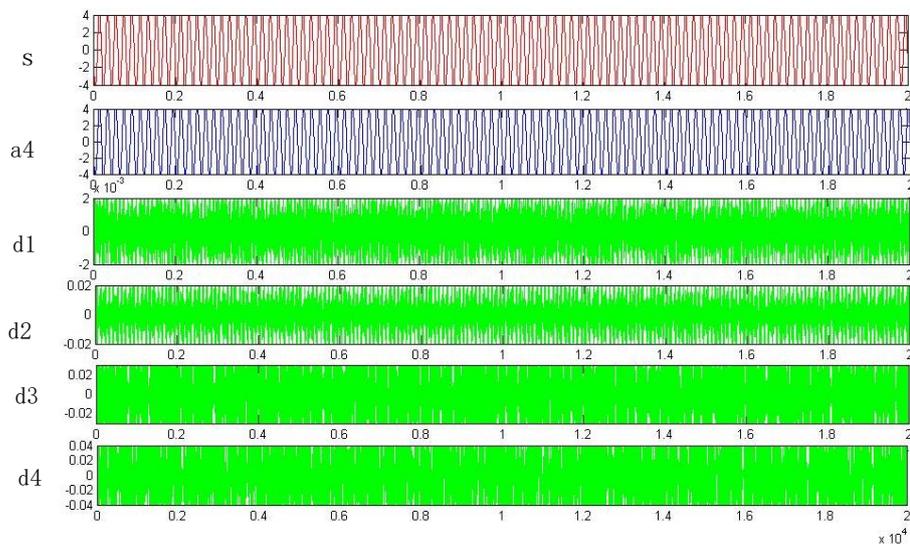
#### 4.4.5 Pengujian Sinyal Arus Stator pada Beban 100%



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.17 dekomposisi sinyal wavelet sym arus stator pada beban 100% (a) kondisi motor normal, (b) kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm, (c) kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm

Pada gambar 4.17, menunjukkan bentuk sinyal yang padat atau jumlah *ripple* yang lebih banyak dibandingkan pada beban-beban sebelumnya. Secara visual terlihat adanya perbedaan antara kondisi motor normal dan kondisi motor rusak di setiap penguraian sinyal arus stator yaitu d1 sampai d4. Karena perbedaan bentuk sinyal yang terlihat tidak begitu jelas, maka dilakukan perhitungan nilai

daya rata-rata dan perhitungan normalisasi. Tabel di bawah ini adalah hasil perhitungan daya rata-rata.

Tabel 4.32 Daya Rata-Rata sinyal wavelet sym pada beban 100%

Parameter kerusakan Motor beban 100%	Daya			
	D1	D2	D3	D4
Kondisi motor normal	$5.31 \times 10^{-6}$	$5.46 \times 10^{-4}$	$1.30 \times 10^{-2}$	$9.4 \times 10^{-3}$
Kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm	$1.16 \times 10^{-6}$	$1.14 \times 10^{-4}$	$2.7 \times 10^{-3}$	$9.9 \times 10^{-3}$
Kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm	$1.12 \times 10^{-6}$	$1.06 \times 10^{-4}$	$2.2 \times 10^{-3}$	$3.4 \times 10^{-3}$

$$\text{Irms motor normal} = 3.4040 \text{ A}$$

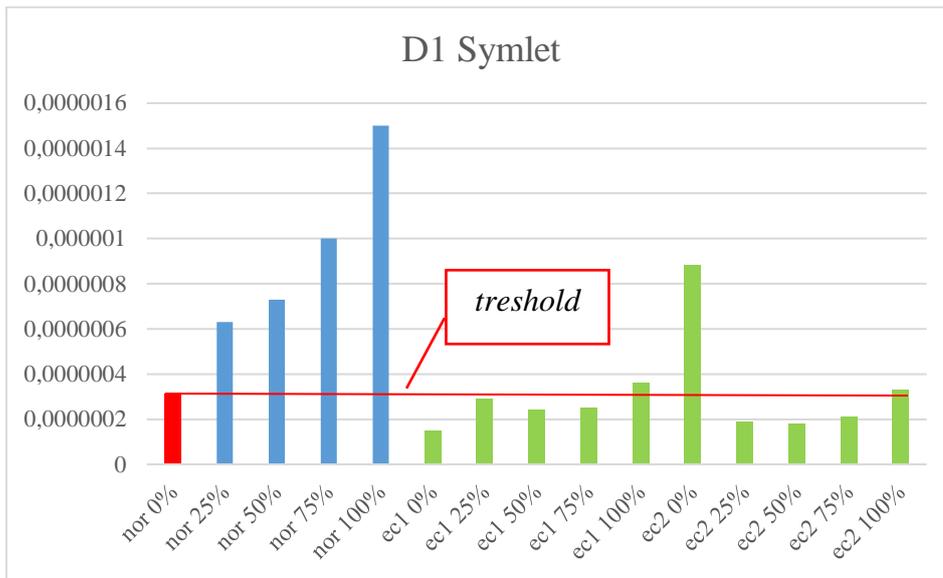
$$\text{Irms motor eksentrisitas 0,1 mm} = 3.2152 \text{ A}$$

$$\text{Irms motor eksentrisitas 0,2 mm} = 3.3192 \text{ A}$$

Tabel 4.33 Daya Rata-Rata wavelet dengan Irms pada beban 100%

Parameter kerusakan Motor beban 100%	Daya			
	D1	D2	D3	D4
Kondisi motor normal	$1.56 \times 10^{-6}$	$1.60 \times 10^{-4}$	$3.8 \times 10^{-3}$	$2.7 \times 10^{-3}$
Kondisi motor eksentrisitas 0,1 mm	$3.6 \times 10^{-7}$	$3.54 \times 10^{-5}$	$8.39 \times 10^{-4}$	$3.07 \times 10^{-3}$
Kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm	$3.39 \times 10^{-7}$	$3.19 \times 10^{-5}$	$6.59 \times 10^{-4}$	$1.0 \times 10^{-3}$

Hasil dari nilai daya rata-rata normalisasi di setiap beban yang telah didapatkan akan dilakukan pendeteksian kerusakan motor dengan cara mencari nilai *threshold* yang paling kecil pada kondisi motor normal. Dapat dilihat pada gambar grafik 4.18 di bawah ini



Gambar 4.18 Grafik nilai *threshold* d1 pada wavelet symlet

Pada gambar grafik 4.18 terlihat adanya kenaikan nilai daya sinyal yang melampaui batas *threshold* pada kondisi motor eksentrisitas 0,2 mm saat beban 0% sama halnya dengan metode wavelet *deubeches* metode ini dapat dilakukan pada kondisi motor berbeban.

Hasil analisa deteksi menggunakan dekomposisi metode wavelet *symlets* ditunjukkan pada tabel 4.33. untuk mengetahui adanya eksentrisitas pada setiap beban motor yaitu nilai daya rata-rata dengan menggunakan normalisasi ini dilakukan untuk mengurangi eror dalam pendeteksian, sama seperti dengan wavelet *haar* dan wavelet *deubechies* yaitu mencari nilai daya rata-rata yang paling kecil pada kondisi motor normal setiap beban lalu dibandingkan dengan kondisi motor rusak atau motor yang telah direkontruksi celah udara. Pendeteksian terjadi apabila nilai daya rata-rata mengalami penurunan dari acuan nilai daya rata-rata kondisi normal. Tabel 4.34 akan menunjukkan keberhasilan pendeteksian.

Untuk melihat Persentase keberhasilannya yaitu

$$\% = \frac{\text{jumlah terdeteksi eksentrisitas}}{\text{jumlah case}} \times 100$$

Dari tabel 4.34 didapatkan hasil persentase keberhasilan untuk d1 sebesar 80% ,d2 sebesar 70% , d3 sebesar 30% sedangkan untuk d4 sebesar 10%.

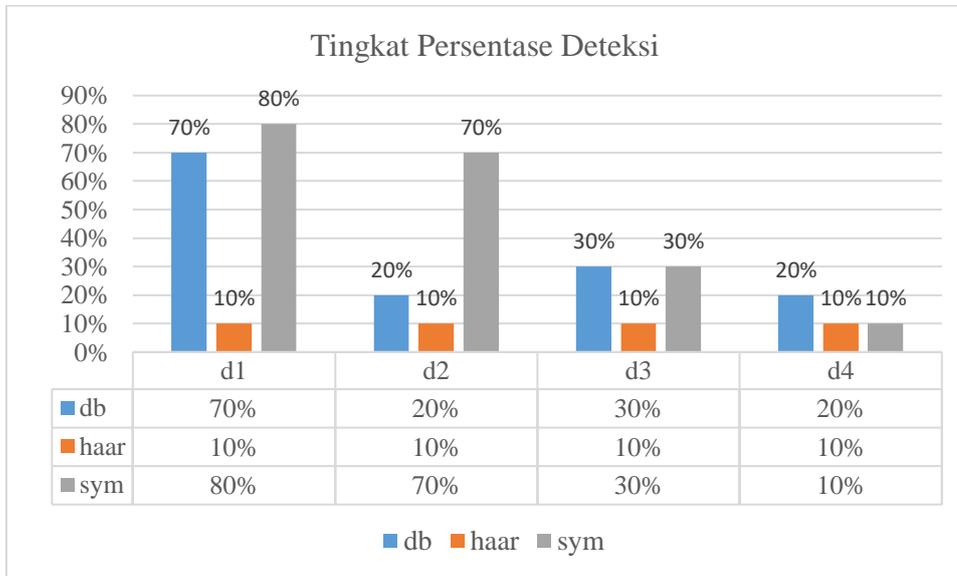
Tabel 4.34 Perbandingan nilai normalisasi daya rata-rata dengan dekomposisi wavelet symlets

Parameter kerusakan	Beban	Daya				Ket-			
		D1	D2	D3	D4	D1	D2	D3	D4
normal	0%	$3.19 \times 10^{-7}$	$1.93 \times 10^{-5}$	$2.67 \times 10^{-4}$	$5.04 \times 10^{-4}$				
eks 0,1 mm		$1.57 \times 10^{-7}$	$8.89 \times 10^{-6}$	$3.93 \times 10^{-4}$	$5.9 \times 10^{-3}$	1	1	0	0
eks 0,2 mm		$8.84 \times 10^{-8}$	$9.48 \times 10^{-7}$	$1.59 \times 10^{-5}$	$3.86 \times 10^{-4}$	1	1	1	1
normal	25%	$6.30 \times 10^{-7}$	$4.95 \times 10^{-5}$	$8.80 \times 10^{-4}$	$8.34 \times 10^{-4}$				
eks 0,1 mm		$2.95 \times 10^{-7}$	$1.2 \times 10^{-5}$	$6.01 \times 10^{-4}$	$7.82 \times 10^{-3}$	1	1	0	0
eks 0,2 mm		$1.97 \times 10^{-7}$	$2.67 \times 10^{-6}$	$4.92 \times 10^{-5}$	$6.25 \times 10^{-4}$	1	1	1	0
normal	50%	$7.33 \times 10^{-7}$	$7.51 \times 10^{-5}$	$1.6 \times 10^{-3}$	$1.2 \times 10^{-3}$				
eks 0,1 mm		$2.42 \times 10^{-7}$	$1.58 \times 10^{-5}$	$5.69 \times 10^{-4}$	$6.4 \times 10^{-3}$	1	1	0	0
eks 0,2 mm		$1.87 \times 10^{-7}$	$7.59 \times 10^{-6}$	$1.26 \times 10^{-4}$	$6.43 \times 10^{-4}$	1	1	1	0
normal	75%	$1.01 \times 10^{-6}$	$1.08 \times 10^{-4}$	$2.5 \times 10^{-3}$	$1.7 \times 10^{-3}$				
eks 0,1 mm		$2.51 \times 10^{-7}$	$2.10 \times 10^{-5}$	$5.9 \times 10^{-4}$	$4.23 \times 10^{-3}$	1	0	0	0
eks 0,2 mm		$2.21 \times 10^{-7}$	$1.56 \times 10^{-5}$	$2.86 \times 10^{-4}$	$7.69 \times 10^{-4}$	1	1	0	0
normal	100%	$1.56 \times 10^{-6}$	$1.60 \times 10^{-4}$	$3.8 \times 10^{-3}$	$2.7 \times 10^{-3}$				
eks 0,1 mm		$3.6 \times 10^{-7}$	$3.54 \times 10^{-5}$	$8.39 \times 10^{-4}$	$3.07 \times 10^{-3}$	0	0	0	0
eks 0,2 mm		$3.39 \times 10^{-7}$	$3.19 \times 10^{-5}$	$6.59 \times 10^{-4}$	$1.0 \times 10^{-3}$	0	0	0	0

Ket : 0 - Tidak ada terdeteksi pada kondisi eksentrisitas

1 – terdeteksi kondisi eksentrisitas

Gambar 4.19 akan menunjukkan tingkat persentase keberhasilan setiap metode wavelet di setiap detail terurainya sinyal arus stator. Terlihat bahwa tingkat deteksi wavelet symplet lebih baik dibandingkan dengan wavelet deubchies dan haar



Gambar 4.19 Grafik tingkat persentase keberhasilan deteksi eksentrisitas celah udara dengan menggunakan metode wavelet haar, daubechies dan symlets

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil percobaan deteksi eksentrisitas celah udara pada motor induksi tiga fasa melalui pengujian dan analisa data menggunakan tiga jenis wavelet yaitu wavelet haar, daubechies dan symlets, dapat disimpulkan bahwa sinyal arus stator yang telah diuji menggunakan dekomposisi wavelet terlihat adanya perbedaan bentuk sinyal pada motor normal dan motor yang telah direkonstruksi celah udaranya. Hasil evaluasi terhadap tiga jenis wavelet yang berbeda dengan menggunakan nilai daya rata-rata yang dinormalisasi menggunakan  $I_{rms}$  setiap kondisi motor dan pembebanan dilakukan untuk mengurangi kegagalan deteksi eksentrisitas celah udara karena adanya fluktuasi beban yang bervariasi dan dari hasil ini didapatkan tingkat persentase keberhasilan yang berbeda. Pada wavelet haar tingkat keberhasilan detail ke 1 sampai detail ke 4 sebesar 10%. Untuk wavelet daubechies tingkat persentase keberhasilan yaitu pada detail ke 1 sebesar 70%, detail ke 2 dan detail ke 4 sebesar 20% serta detail ke 3 sebesar 30%. Sedangkan untuk wavelet symlets tingkat persentase keberhasilan pada detail ke 1 sebesar 80%, detail ke 2 sebesar 70%, detail ke 3 sebesar 30% dan detail ke 4 sebesar 10%. Sehingga untuk filter wavelet jenis haar tingkat persentase keberhasilan deteksi sangat rendah dibandingkan dengan filter wavelet jenis daubechies dan symlets. Namun metode ini hanya dapat dilakukan pada kondisi motor berbeban.

#### **5.2 Saran**

Saran untuk penelitian ini yaitu untuk mendapatkan hasil pendeteksian eksentrisitas celah udara yang lebih akurat diperlukan rekonstruksi celah udara yang bervariasi dan alat-alat yang presisi diperlukan dalam penelitian ini contohnya adalah regulator.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

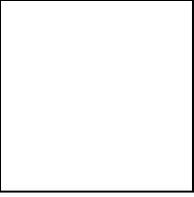
## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Drif ,M'hamed., Cardoso, A.J Marques.,”*Airgap eccentricity fault diagnosis, in three phase induction motors, by the complex apperent power signature analysis*”.SPEEDAM.2006.
- [2] Yudistiawan, I G P.,’” Deteksi kerusakan *bearing* dan *eccentricity* pada motor induksi tiga fasa dengan *current signature analysis*. Tesis. UI. 2009.
- [3] Ishkova, Ielyzaveta.,*Detection of eccentricity and faults by means of monitoring of current and magnetic flux density spektrum*. FEEC.2015.
- [4] Karmakar, S.,et al.,’”*Induction motor fault diagnosis*”.Springer.2016.
- [5] Thomson W. T., Rankin, D., Dorrell, D. G., “*On -line current monitoring to diagnose airgap eccentricity in large induction motors - Industrial case histories verify the predictions*”. IEEE Trans. on Energy Conversion, vol. 14, Dec. 1999, pp. 1372-1378
- [6] Nandi, S., Toliyat, H. A., Li, X.,” *Condition monitoring and fault diagnosis of electrical motors - A review*. IEEE Trans. on Energy Conversion”. vol. 20, Sept. 2005.pp. 719-729
- [7] Burrus, C Sidney.,Gopinath, A Ramesh., Guo..Haitao.,”*Introduction to wavelet transform :a primer*. Prentice-Hall, Inc.1998.
- [8] Dewantara Belly Yan, Asfani Dimas Anton, Negara I Made Yulistya., “*Detecting The Static Airgap Eccentricity in Induction Motor Based on Resolution Frequency Analysis on Stator Current*,” RCEE, July 2017.
- [9] Karegar H Kazemi, Sobhani B “*Wavelet Transform Method For Islanding Detection of Wind Turbines* ”. Renew.Energy, vol. 38, no. 1, pp. 94–106, Feb. 2012.
- [10] Misiti Michael,. Misiti Yves,. Oppenheim George,. Poggi Jean Michel., “*Wavelet Toolbox User's Giude Matlab*” 2015.
- [11] J. Mcnames., “*Signal Fundamental*,”ECE 222. Portland State University. Ver. 1.15

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LAMPIRAN

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## **DAFTAR INDEX**