

DETEKSI KEGAGALAN MOTOR INDUKSI JENIS SQUIRREL CAGE BERBASIS MOTOR CURRENT SIGNATURE ANALYSIS (MCSA)

Ryan Yudha Adhitya¹⁾, Purwadi Agus Darwito²⁾

^{1), 2)} *Rekayasa Instrumentasi Industri, Jurusan Teknik Fisika FTI - ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Email : ryanyudhaadhitya@gmail.com¹⁾, pdarwito@gmail.com²⁾*

Abstrak

Mayoritas pada negara – negara industri berkembang penggunaan motor induksi mengkonsumsi sekitar 40% hingga 50% dari total daya listrik yang dibangkitkan [1]. Mengingat peran motor induksi yang vital, performa dan reliabilitas motor induksi menjadi perhatian khusus di sektor perindustrian saat ini. Kegagalan pada motor induksi secara umum disebabkan oleh beberapa faktor antara lain : berkaitan dengan stator (36%), rotor (9%), bearing (41%) dan faktor lainnya (14%)[1][2]. Pada penelitian ini deteksi kegagalan pada bagian rotor bar motor induksi dilakukan. Kerusakan rotor bar berpengaruh terhadap arus stator yang dihasilkan, melalui pendekatan sinyal arus stator untuk mendeteksi *Fsb* (Side Band Frequency) disekitar terminal sumber, akan didapatkan karakteristik fasa yang merepresentasikan performa frekuensi pada motor secara real time [4]. Proses analisa dilakukan terhadap fasa yang didapat dengan menggunakan metode MCSA (Motor Current Signature Analysis). MCSA merupakan kumpulan teknik diagnosa untuk menganalisa bentuk gelombang arus yang mampu mendeteksi kegagalan pada motor induksi. Beberapa teknik diagnosa yang telah digunakan diantaranya : FFT (Fast Fourier Transform) [5], STFT (Short Time Fourier Transform) [5] dan Wavelet Transform [6]. Pada penelitian ini dilakukan pendekatan karakteristik fasa dengan teknik diagnosa FFT. Hasil analisis dari penggunaan teknik tersebut menunjukkan kenaikan besaran energi pada tiap rentang band frekuensi, sehingga kondisi motor dapat diketahui apakah normal atau terjadi kerusakan.

Kata kunci: motor induksi, MCSA, FFT

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Motor induksi merupakan peralatan industri yang memiliki kehandalan yang cukup tinggi jika dibandingkan dengan peralatan elektromekanik yang lain. Penggunaan dalam jangka waktu yang panjang, proses penuaan alami dan berbagai faktor lain yang terkait dengan operasional motor induksi, sehingga mengakibatkan kerusakan motor induksi dapat terjadi.

Apabila kerusakan pada motor induksi tidak dideteksi pada tahap permulaan akan dapat mengakibatkan kerusakan yang sangat parah dengan berbagai tipe kerusakan. Kerusakan motor yang tidak terdeteksi dapat mengakibatkan *shutdown* dari proses produksi yang tentunya menyebabkan hilangnya waktu produktif akibat perbaikan mesin yang cukup lama. Biaya pemeliharaan yang besar akibat banyaknya komponen yang harus diganti dan kerugian bahan baku produksi yang seharusnya bisa diolah namun harus terbuang karena mesin berhenti beroperasi.

Sebuah survei telah dilakukan oleh *Electrical Power Research Institute (EPRI)* yang menemukan sekitar 8% dari total keseluruhan 6312 kasus kerusakan motor induksi diakibatkan karena masalah pada rotor. Jumlah ini diperkuat oleh data dari IEEE-IAS yang juga melakukan survei dan menemukan sekitar 9% dari total 1141 kasus kerusakan motor diakibatkan karena kerusakan pada rotor [1].

Tabel 1. Persentase Kerusakan Komponen

Failed component	IEEE-IAS (%)	EPRI (%)
Bearings related	44	41
Windings related	26	36
Rotor related	8	9
Others	22	14

Pada penelitian ini deteksi kegagalan pada bagian rotor bar motor induksi dilakukan. Beberapa hal yang menyebabkan kerusakan rotor bar motor induksi diantaranya :

1. Adanya tingkat pemanasan yang tinggi sehingga menyebabkan rusaknya laminasi dan mencairnya *adjoint* antara bagian rotor bar dan end ring motor induksi.
2. Pecahnya rotor bar karena gesekan atau benturan yang dimungkinkan terjadi saat proses *maintenance* motor induksi.
3. Gaya sentrifugal yang besar sehingga mengakibatkan terangkatnya rotor bar dari slot.

4. Rusaknya rotor bar karena pengaruh *electrical arching* didalam motor induksi.

Kerusakan rotor bar berpengaruh terhadap arus stator yang dihasilkan, melalui pendekatan dengan metode MCSA ini F_{sb} (*Side Band Frequency*) disekitar terminal sumber yang didapat dari pembacaan sinyal arus stator dapat dideteksi, sehingga didapatkan karakteristik fasa yang merepresentasikan performa frekuensi pada motor secara *real time* [4]. MCSA memiliki teknik diagnosa yang bervariasi, beberapa teknik diagnosa yang telah digunakan diantaranya : FFT (*Fast Fourier Transform*) [5], STFT (*Short Time Fourier Transform*) [5] dan *Wavelet Transform* [6]. Pada penelitian ini teknik diagnosa yaitu *Fast Fourier Transform (FFT)* digunakan untuk mendeteksi kenaikan besaran energi pada tiap band frekuensi tertentu, sehingga kondisi motor dapat diketahui.

1.2 Rumusan Masalah

Perumusan masalah pada penelitian ini adalah

1. Bagaimana merancang sebuah eksperimen untuk mendeteksi kegagalan motor Induksi teknik diagnosa FFT.
2. Bagaimana merancang identifikasi sistem untuk karakteristik f_{sb} yang merepresentasikan kegagalan motor.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang suatu instrumentasi daya yang dapat digunakan untuk mengetahui kondisi apa yang terjadi pada motor induksi. Apakah kondisi dari mesin normal atau sudah mengalami kerusakan dan dapat dibaca dengan mudah oleh pengguna yang pengetahuannya terbatas tentang *Motor Current Signature Analysis*.

1.4 Tinjauan Pustaka

Sistem deteksi kegagalan rotor bar digunakan untuk mengantisipasi terjadinya kerusakan motor induksi secara permanen, deteksi kegagalan secara dini akan meningkatkan reliabilitas (waktu penggunaan) dan performansi motor induksi karena proses perbaikan atau maintenance dapat dilakukan sebelum kerusakan selanjutnya terjadi. Pendekatan spektrum arus dilakukan dengan mengubah fungsi waktu yang didapat dari pembacaan arus stator ke dalam domain frekuensi, sehingga distribusi frekuensi dan perubahan fasa signifikan yang merepresentasikan kondisi motor dapat diketahui secara langsung.

Adapun beberapa literatur yang digunakan sebagai referensi yang pertama adalah penelitian yang dilakukan oleh (Jee-Hoon Jung, Jong-Jae Lee, and Bong-Hwan Kwon, 2006) dengan algoritma pemrosesan data dan sinyal yang digunakan menunjukkan bahwa MCSA mampu diaplikasikan untuk mendeteksi berbagai macam kegagalan motor induksi dengan variasi beban yang diberikan.

Penelitian yang dilakukan oleh (Manuel pineda-sanchez dan M. Riera – Guasp, 2010) menggunakan *Fractional Fourier Transform (FrFT)* untuk menghasilkan spektrum apabila kondisi pembacaan frekuensi kegagalan harmonik berupa *single spectral lines*. Kondisi tersebut tidak dapat dilakukan oleh transformasi fourier biasa karena bentuk harmonik dari kegagalan yang tidak stasioner.

1.4.1 Motor Induksi

Motor induksi bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik dari kumparan stator kepada kumparan rotornya. Bila kumparan stator motor induksi 3-fasa yang dihubungkan dengan suatu sumber tegangan 3-fasa, maka kumparan stator akan menghasilkan medan magnet yang berputar. Garis-garis gaya fluks yang diinduksikan dari kumparan stator akan memotong kumparan rotor sehingga timbul emf (ggl) atau tegangan induksi. Karena penghantar (kumparan) rotor merupakan rangkaian yang tertutup, maka akan mengalir arus pada kumparan rotor. Penghantar (kumparan) rotor yang dialiri arus ini berada dalam garis gaya fluks yang berasal dari kumparan stator sehingga kumparan rotor akan mengalami gaya Lorentz yang menimbulkan torsi yang cenderung menggerakkan rotor sesuai dengan arah pergerakan medan induksi stator. Medan putar pada stator tersebut akan memotong konduktor-konduktor pada rotor, sehingga terinduksi arus dan sesuai dengan Hukum Lenz, rotor akan turut berputar mengikuti medan putar stator.

Perbedaan putaran relatif antara stator dan rotor disebut slip. Bertambahnya beban, akan memperbesar kopel motor yang oleh karenanya akan memperbesar pula arus induksi pada rotor, sehingga slip antara medan putar stator dan putaran rotor pun akan bertambah besar. sehingga apabila beban motor bertambah, putaran rotor cenderung menurun. Pada rangka stator terdapat kumparan stator yang ditempatkan pada tiap slot yang dililitkan pada sejumlah kutub tertentu. Jumlah kutub ini menentukan kecepatan berputarnya medan stator yang terjadi yang diinduksikan ke rotornya. Makin besar jumlah kutub akan mengakibatkan makin kecilnya kecepatan putar medan stator dan sebaliknya. Kecepatan berputarnya medan putar ini disebut kecepatan sinkron. Motor yang dijadikan objek pada penelitian ini adalah motor induksi tiga fasa jenis squirrel cage dengan kapasitas $\frac{3}{4}$ HP.

Motor induksi mendapatkan suplai oleh sistem 3 fasa dimana tegangan ketiga fasa tersebut berbeda sebesar 120° atau $2\pi/3$ radian [3].

$$V_a = V_m \cos(\omega t) \quad \dots(1)$$

$$V_b = V_m \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \quad \dots(2)$$

$$V_c = V_m \cos(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \quad \dots(3)$$

Dimana V_a adalah arus fasa A dan V_b adalah fasa B dan V_c adalah fasa C, V_m adalah nilai puncak dari frekuensi fundamental dari masing – masing fasa, ω adalah frekuensi elektrik fundamental (rad/s).

Karena perbedaan fasa simetris maka penjumlahan ketiga fasa adalah nol,

$$I_a + I_b + I_c = 0 \quad \dots(4)$$

Arus juga berbeda fasa 120° :

$$I_a = I_m \cos(\omega t - \phi) \quad \dots(5)$$

$$I_b = I_m \cos(\omega t - \phi - \frac{2\pi}{3}) \quad \dots(6)$$

$$I_c = I_m \cos(\omega t - \phi + \frac{2\pi}{3}) \quad \dots(7)$$

Dimana I_a adalah arus fasa A dan I_b adalah fasa B dan I_c adalah fasa C, I_m adalah nilai puncak dari frekuensi fundamental dari masing – masing arus fasa, ω adalah frekuensi elektrik fundamental (rad/s), ϕ adalah faktor daya *lagging*, dan t adalah waktu (s). Karena pergeseran fasa yang simetris sebesar 120° penjumlahan ketiga fasa adalah nol.

Kecepatan dari medan putar disebut dengan kecepatan sinkron. Untuk motor induksi dengan p kutub, kecepatan sinkron dalam rpm adalah :

$$n_{syn} = \frac{120 f}{P} \quad \dots(8)$$

dimana f adalah frekuensi stator dalam Hertz, n_{syn} adalah kecepatan sinkron. Karena rotor berputar pada kecepatan asinkron yang biasanya lebih lambat dari kecepatan sinkron. Perbedaan kecepatan disebut dengan kecepatan slip dimana,

$$n_s = n_{syn} - n_{asyn} \quad \dots(9)$$

n_{syn} adalah kecepatan rotor dalam rpm dan n_s adalah kecepatan slip. Kecepatan slip dapat ditulis sebagai s yaitu slip per unit :

$$s = \frac{n_{syn} - n_{asyn}}{n_{syn}} \quad \dots(10)$$

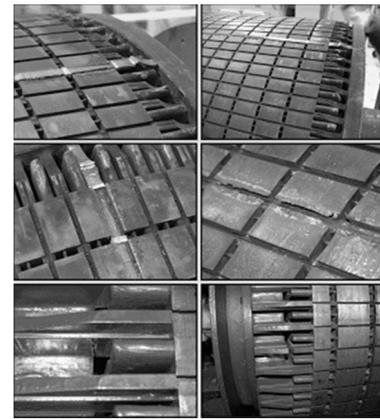
kecepatan sinkron tergantung pada frekuensi dari tegangan sumber dan jumlah kutub. Kecepatan asinkron atau kecepatan rotor tidak hanya tergantung pada frekuensi dan jumlah kutub tetapi juga terpengaruh pada torsi beban motor. Semakin tinggi torsi beban maka slip menjadi lebih tinggi dan kecepatan rotor menjadi lebih lambat (da Silva, 2006).

1.4.2 Kegagalan rotor bar motor induksi

Kerusakan pada rotor bar disebabkan oleh kecacatan karena kesalahan dalam proses produksi dan operasi motor induksi. Adapun kesalahan tersebut antara lain sebagai berikut.

1. Proses starting dengan metode Direct-Online dimana rotor bar tidak didesain untuk memiliki ketahanan pada suhu yang tinggi dan *mechanical stress*.
2. Beban mekanis yang bersifat pulsating (lonjakan secara tiba-tiba) sehingga akan menyebabkan *mechanical stress* yang tinggi, contohnya pada motor untuk menghaluskan batubara.

3. Proses manufaktur rotor bar yang kurang sempurna.



Gambar 1. Dari atas ke bawah, Kerusakan rotor bar keluar dari slot, Kerusakan rotor bar karena laminasi rotor yang rusak, *Half and Full broken rotor bar*

pada penelitian ini untuk kerusakan pada rotor bar jika dikaitkan dengan frekuensi sumber dan frekuensi slip maka didapatkan persamaan :

$$f_b = f_i(1 \pm 2s) \quad \dots(11)$$

dimana,

f_b = frekuensi kerusakan rotor bar

f_i = frekuensi sumber / supply

s = frekuensi slip

1.4.3 Fast Fourier Transform

FFT (Fast Fourier Transform) adalah teknik perhitungan cepat dari DFT [5] dengan memanfaatkan sifat periodikal dari transformasi fourier. Perhatikan definisi dari DFT :

$$F(k) = \sum_{n=1}^N f(n).e^{-j2\pi knT / N} \quad \dots(12)$$

Atau dapat dituliskan dengan :

$$F(k) = \sum_{n=1}^N f(n) \cos(2\pi nkT / N) - j \sum_{n=1}^N f(n) \sin(2\pi nkT / N) \quad \dots(13)$$

dapat dikatakan bahwa nilai fungsi cosinus untuk setengah periode adalah kebalikan horisontal (shift) dari nilai setengah periode sebelumnya, atau dapat dituliskan bahwa :

$$\cos(T/2-x) = -\cos(x), \text{ untuk } 0 < x < T/2 \quad \dots(14)$$

Dari sifat tersebut, maka perhitungan DFT dapat disederhanakan dengan cukup menghitung setengah periode saja, sedangkan setengah periode berikutnya dapat dihitung dengan menggunakan :

$$F(x+T/2) = \text{Real}\{F(T/2-x)\} - j \text{Im}\{F(x)\} \quad \dots(15)$$

hasil dari DFT adalah sebagai berikut :

Tabel 2. Hasil Perhitungan DFT

K	F(k)	K	F(k)
0	12	5	0
1	0	6	-2 + 2j
2	-2 - 2j	7	0
3	0	8	12
4	0		

Untuk menghitung hasil tersebut diperlukan $8 \times 8 = 64$ kali perhitungan (*looping*). Bila dihitung dengan menggunakan FFT seperti diatas, maka akan diperoleh ($5 \times 8 + 4$) = 44 kali perhitungan, hal ini terlihat sangat menghemat perhitungan. Tentunya dengan bertambahnya ukuran data, maka perbedaan kecepatan perhitungannya akan semakin terlihat.

Untuk n buah data, DFT memerlukan n^2 kali perhitungan, dan FFT memerlukan $(n/2 + 1) \times n + n/2$ kali perhitungan. Misalkan jumlah data $n=100$ maka dengan menggunakan DFT diperlukan $100 \times 100 = 10.000$ kali perhitungan, dengan menggunakan FFT cukup dilakukan $(51 \times 100 + 50) = 5150$ kali perhitungan.

Proses FFT di atas adalah proses DFT dengan dibagi menjadi 2 bagian, sebenarnya hal ini masih bisa dilanjutkan dengan memperhatikan kembali sifat dari fungsi sinus dan cosinus pada setengah bagian, seperempat bagian dan seterusnya. Sehingga prosesnya menjadi lebih cepat.

Cara perhitungan FFT adalah sebagai berikut.

1. Hitung dengan cara DFT

- Untuk $k=0$: $F(0) = 12 + 0j$
- Untuk $k=1$: $F(1) = 0 + 0j$
- Untuk $k=2$: $F(2) = -2 - 2j$
- Untuk $k=3$: $F(3) = 0 + 0j$
- Untuk $k=4$: $F(4) = 0 + 0j$ (karena posisi ditengah)

2. Perhitungan selanjutnya dengan menggunakan cara *konjugate* diatas.

- Untuk $k=5$: $F(5) = \text{Real}\{F(3)\} - \text{Im}\{F(1)\} = 0 + 0j$
- Untuk $k=6$: $F(6) = \text{Real}\{F(2)\} - \text{Im}\{F(2)\} = -2 + 2j$
- Untuk $k=7$: $F(7) = \text{Real}\{F(1)\} - \text{Im}\{F(3)\} = 0 + 0j$

1.4.4 Sistem instrumentasi

Gambar 2. Adalah blok instrumentasi daya yang digunakan pada penelitian ini. Instrumen yang digunakan diantaranya :

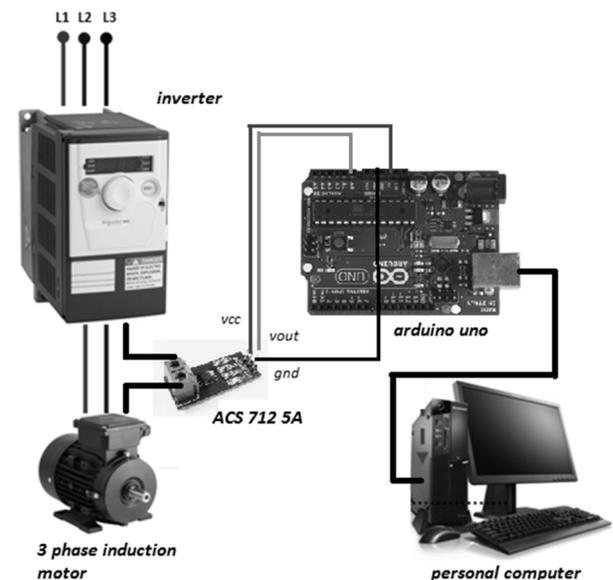
Inverter : Inverter yang dipakai adalah inverter jenis 3 fasa dengan kapasitas 1.5kW, inverter adalah suatu rangkaian elektronika daya yang dapat mengubah sumber tegangan searah (DC) menjadi sumber tegangan dan arus bolak-balik (AC). Inverter ini digunakan untuk mengendalikan frekuensi tegangan yang masuk ke terminal sumber motor tiga fasa, sehingga frekuensi

sumber motor dapat diatur dan dikendalikan melalui sinyal tegangan searah.

Motor induksi : motor induksi yang digunakan adalah motor induksi tiga fasa jenis squirrel cage dengan kapasitas 3/4 HP, 4 kutub, maksimum rpm hingga 1420rpm.

Mikrokontroler : Arduino UNO, merupakan mikrokontroler yang didasarkan pada ATmega328. Arduino UNO mempunyai 14 pin digital masukan dan keluaran 6 diantaranya adalah masukan analog dengan resolusi 12 bit, sebuah osilator Kristal 16 MHz, sebuah koneksi USB, sebuah power jack, sebuah ICSP header, dan sebuah tombol reset. Alasan menggunakan arduino uno sebagai kontroler yang dapat mengolah proses dari data I/O hingga 20 Mhz, sehingga pengolahan data yang menuntut untuk real-time pembacaan arus AC dengan frekuensi 50 Hz dapat dilakukan. Untuk pengolahan data dari sensor arus pin Analog dari arduino. Dengan sistem ADC (Analog to Digital Converter) yang dapat bekerja dengan masukan tegangan antara 0 – 5 Vdc dan arus 40 mA.

Sensor arus : Sensor arus menggunakan IC sensor arus linier berbasis efek Hall ACS712 5A produksi Allegro. Sensor arus ini dapat digunakan untuk mengukur arus AC atau DC. Dengan rangkaian OpAmp didalamnya dapat mengukur perubahan arus yang lebih kecil. Kenaikan besarnya tegangan searah yang dihasilkan berbanding lurus dengan kenaikan pembacaan arus. Sensor ini digunakan pada aplikasi - aplikasi di bidang industri, komersial, maupun komunikasi. Contoh aplikasinya antara lain untuk sensor kontrol motor, deteksi dan manajemen penggunaan daya, sensor untuk *switch-mode Power supply*, sensor proteksi terhadap *overPower*, dan lain sebagainya.



Gambar 2. Sistem instrumentasi deteksi kegagalan rotor bar motor induksi

2. Pembahasan

2.1 Kecepatan Sinkron Motor Induksi

Berikut adalah spesifikasi lengkap motor induksi yang digunakan :

Tabel 3. Spesifikasi Motor Induksi

No.	Parameter	Nilai
1	Daya	3/4 HP
2	Frequency (Hz)	50
3	Pole	4
4	Volt	220/380
5	Conn	Δ/Y
6	Ampere Starting (A)	1.6
7	Ampere Running (A)	0.8
8	Insulation Class	E
10	RPM	1420
11	Phase	Three
12	Produsen	PEM China

Dari spesifikasi tersebut sesuai dengan persamaan (8), maka kecepatan sinkron motor induksi n_{syn} dapat ditentukan :

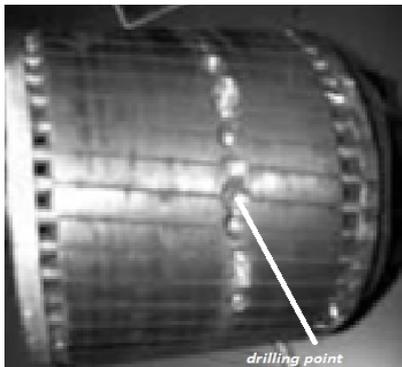
$$n_{syn} = \frac{120 f}{P}$$

$$n_{syn} = \frac{120.50}{4}$$

$$n_{syn} = \frac{6000}{4} = 1500 \text{ rpm} \quad \dots(15)$$

2.2 Simulasi Kegagalan Rotor Bar

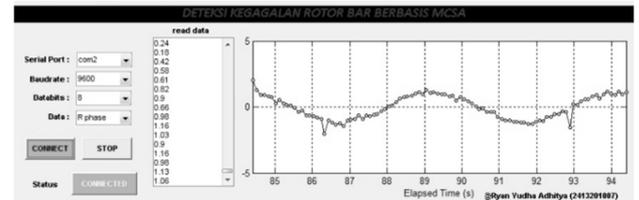
Kegagalan rotor bar dilakukan dengan memberikan *drilling point* (DP) pada bagian laminer motor induksi. Jumlah *drilling point* yang diberikan pada penelitian ini adalah 3 titik. Proses pengambilan data berupa sinyal arus dan rpm motor dilakukan secara bertahap ketika motor dalam kondisi normal, kondisi dengan 1 DP hingga 3 DP terpenuhi.



Gambar 3. Simulasi kegagalan rotor bar

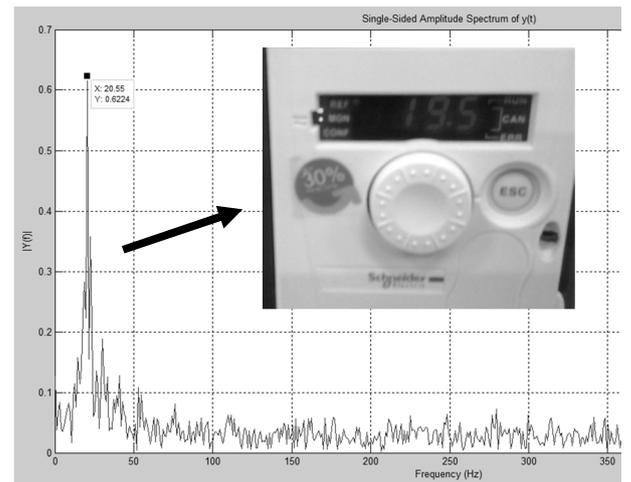
2.3 Hasil eksperimen dan analisa data

Frekuensi yang diberikan pada terminal sumber motor induksi adalah 19.5 Hz, terminasi hubungan star (Y) dan motor dijalankan dalam keadaan tanpa beban. Hasil data arus stator terhadap domain waktu yang ditransformasikan ke dalam bentuk domain frekuensi dengan metode *Fast Fourier Transform* untuk perlakuan yang diberikan adalah sebagai berikut :



Gambar 4. Pencuplikan sinyal arus terhadap waktu

Data yang diambil adalah data pada saat $t = 9s$ (karena adanya waktu tunda atau delay pengiriman serial) hingga $t = 100s$.



Gambar 5. Frekuensi puncak motor induksi

Data hasil transformasi menunjukkan, untuk frekuensi puncak yang diberikan yaitu 19.5 Hz besarnya amplitudo yang dihasilkan adalah 0.6224 dan kecepatan yang terukur adalah 553 rpm. Dari perhitungan kecepatan sinkron motor induksi pada persamaan (15) maka nilai slip persamaan (10) yang didapatkan adalah :

$$s = \frac{n_{syn} - n_{asyn}}{n_{syn}}$$

$$s = \frac{1500 \text{ rpm} - 553 \text{ rpm}}{1500 \text{ rpm}} = 0.6313 \quad \dots(16)$$

Sehingga perhitungan frekuensi kegagalan rotor bar berdasarkan persamaan (11) dan persamaan (16) untuk menentukan letak frekuensi kegagalan rotor maka diperoleh :

$$f_b = f_i(1 \pm 2s)$$

$$f_b = 19.5 (1 \pm 2(0.6313))$$

$$f_b^+ = 19.5 (1 + 2(0.6313))$$

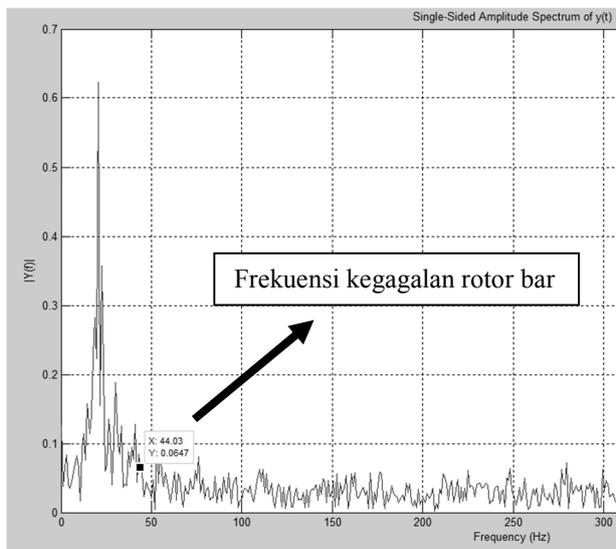
$$f_b^+ = 19.5 (1 + 1.2626)$$

$$f_b^+ = 19.5 (2.2626)$$

$$f_b^+ = 19.5 (2.2626)$$

$$f_b^+ = 44.1207 \text{ Hz} \quad \dots(17)$$

Sehingga frekuensi perhitungan kegagalan rotor motor induksi dapat ditentukan pada titik 44.1207 Hz (44.03 Hz pada pengukuran) dengan amplitudo 0.0647 untuk kondisi motor normal.



Gambar 6. Frekuensi kegagalan rotor bar

Setelah dilakukan pengambilan data secara bertahap untuk 1 DP hingga 3 DP maka didapatkan data sebagai berikut :

Tabel 4. Amplitudo Relatif untuk Setiap DP

Frekuensi (Hz)	Amplitudo (%)	DP
44.03	0.0647	0 (normal)
44.03	0.1381	1
44.03	0.2183	2
44.03	0.2315	3

Berdasarkan data pada tabel 4 kenaikan nilai amplitudo relatif dipengaruhi oleh jumlah atau tingkat kerusakan yang terjadi pada bagian laminer rotor. Sehingga persentase tersebut dapat dijadikan sebagai indikator *maintenance* motor induksi sebelum kerusakan lebih parah terjadi.

3. Kesimpulan

Telah dilakukan eksperimen deteksi kegagalan rotor bar motor induksi jenis squirrel cage dengan perlakuan yang diberikan antara lain ; frekuensi sumber $f_i = 19.5$ Hz, terminasi hubungan star (Y), motor dalam keadaan tanpa beban dan cacat pada bagian rotor disimulasikan dengan memberikan 3 *Drilling Point* secara bertahap. Error ketidakpastian pengukuran adalah 0.205%. Hasil yang didapatkan yaitu besar kenaikan persentase amplitudo relatif dari frekuensi kegagalan rotor bar f_b dipengaruhi oleh jumlah atau tingkat kerusakan pada bagian laminer rotor dengan persentase amplitudo 0.1381% untuk 1 DP, 0.2183% untuk 2 DP dan 0.2315% untuk 3 DP. Sehingga persentase tersebut dapat dijadikan sebagai indikator *maintenance* motor induksi sebelum kerusakan lebih parah terjadi.

Ucapan Terimakasih :

Terimakasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Republik Indonesia yang telah memberikan beasiswa *fresh graduate* kepada penulis sehingga dapat mengikuti perkuliahan program S2 di Teknik Fisika ITS.

Daftar Pustaka

- [1] M. R. W. Group, "Report of large motor reliability survey of industrial and commercial installation, PartII," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol.IA-21, no.4, pp.865-872, July./Aug. 1985.
- [2] A. H. Bonnett and G. C. Soukup, "Cause and analysis of stator and rotor failures in three-fasa squirrel-cage induction motors," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 28, no. 4, pp. 921-937, Jul./Aug. 1992.
- [3] Yudistiawan, I Gusti Putu, "Deteksi Kerusakan Bearing dan Eccentricity pada Motor Induksi Tiga Fasa dengan Current Signature Analysis," tesis universitas indonesia, 2009.
- [4] Jee-Hoon Jung, Jong-Jae Lee, and Bong-Hwan Kwon, "Online Diagnosis of Induction Motors Using MCSA," *IEEE Trans. Ind. Electronic*, vol. 53, no. 6, Dec. 2006.
- [5] Vittaya Thipsuwanpom, Arjin Numsumran and Mongkol Leawsoong, "Balance Weight Fault Detection In Compressor Using FFT Algorithm," *IEEE 2012, 12th International Conference on Control, Automation and Systems Oct. 17-21, 2012 in ICC, Jeju Island, Korea.*
- [6] Khadim Main Siddiqui and V.K Giri, "Broken Rotor Bar Fault Detection in Induction Motors Using Wavelet Transform," *IEEE 2012, International Conference on Computing, Electronics and Electrical Technologies [ICCEET].*

Biodata Penulis

Ryan Yudha Adhitya, memperoleh gelar Sarjana Sains Terapan (S.ST), Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur PPNS, lulus tahun 2013. Saat ini adalah mahasiswa semester akhir. Program Pasca Sarjana Magister Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito., Msc., memperoleh gelar Doktor (Dr.) program doktor jurusan teknik elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Saat ini adalah dosen dan kepala program studi D3 metrologi dan instrumentasi Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.