

PREDIKSI TINGKAT KERUSAKAN BATANG ROTOR PADA MOTOR INDUKSI BERDASAR ANALISIS CIRI ARUS CATU DAN CIRI GETARAN

Indra Nurhadi⁽¹⁾, Zainal Abidin⁽¹⁾, Haris Darmawan⁽¹⁾

⁽¹⁾Laboratorium Dinamika PPAU-IR-ITB

Departemen Teknik Mesin, FTI-ITB

Jalan Ganesha 10, Bandung 40132

Telp. 022-2506283

e-mail: in@dynamic.pauir.itb.ac.id

Ringkasan

Umumnya, analisis ciri getaran mekanik merupakan salah satu langkah esensial dalam kegiatan perawatan prediktif untuk mesin rotasi. Makalah ini membahas penelitian tentang pemanfaatan analisis ciri arus catu motor sebagai pelengkap terhadap analisis ciri getaran mekanik dalam pendeteksian batang rotor rusak pada motor listrik induksi 3-fasa.

Dari kaji literatur [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11] dapat disimpulkan bahwa batang rotor rusak menyebabkan kenaikan amplitudo side-bands ($1x \text{ rpm} \pm F_s, x p$) pada getaran mekanik. Selain itu batang rotor rusak juga ditandai dengan adanya kenaikan amplitudo side-bands ($(1 \pm 2s)F_1$) pada arus catu stator. Lebih lanjut, amplitudo side band kiri pada spektrum arus catu dapat digunakan untuk memprediksi tingkat kerusakan batang rotor.

Untuk mengkaji keabsahan teori tersebut dan penerapannya dalam praktek, dibuatlah suatu perangkat percobaan dengan motor uji kecil sebesar $\frac{1}{4}$ hp, 2 pole yang dibebani dengan generator. Analisis spektrum arus stator dan sinyal getaran badan motor membuktikan keabsahan teori seperti yang disimpulkan dalam kaji literatur.

Abstract

Typically, mechanical vibration signature analysis is one of the essential steps in predictive maintenance activity for rotating machines. This paper discusses a study on the use of motor current signature analysis as a complement to the vibration signature analysis in identifying broken rotor bar in 3-phase induction motors.

From literature study [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11], it was summarized that the presence of rotor bar faults can be detected through the increase in ($1x \text{ rpm} \pm F_s, x p$) side-bands amplitude of mechanical vibration. In addition, this type of fault is also signified by the increase in $(1 \pm 2s)F_1$ side-bands amplitude of motor current. Furthermore, the amplitude of the left side-band of supply current spectra can be used to estimate fault severity.

To prove the validity of the theory and to study its feasibility for practical use, experimentation was conducted using a small 2-pole motor of $\frac{1}{4}$ hp, coupled with a generator. Spectral analysis performed on motor current and body vibration shows results as predicted by the theory.

Keywords: Induction motor, rotor bar fault, signature analysis.

1. PENDAHULUAN

Pada umumnya, pemantauan kondisi mesin rotasi dilakukan dengan memanfaatkan sinyal getaran mekanik yang diukur pada saat mesin beroperasi. Bila teknik ini akan digunakan pada motor listrik, harus diingat bahwa getaran yang terekam oleh sensor yang dipasang pada badan motor berasal dari komponen mekanik maupun komponen elektrik. Oleh karena itu, pengukuran seringkali dilakukan dalam dua tahap dengan kondisi yang berbeda. Pengukuran pertama dilakukan ketika motor terhubung dengan jala-jala dan pengukuran kedua dilakukan dengan motor tidak terhubung dengan jala-jala. Perbedaan antara kedua sinyal getaran yang diperoleh dapat dipastikan berasal dari komponen elektrik. Tentu saja cara seperti ini tidak dapat dilakukan setiap saat tanpa menyebabkan interupsi terhadap proses yang sedang berjalan.

Sinyal getaran mekanik yang dibangkitkan oleh berbagai kerusakan awal pada komponen elektrik seringkali terlalu lemah sehingga terkubur oleh sinyal getaran mekanik yang lebih dominan. Oleh karena itu, dalam memprediksi kerusakan motor listrik secara dini, diperlukan analisis lain baik sebagai pembanding atau pelengkap.

Sejumlah penelitian yang dilaporkan dalam [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11] menunjukkan, bahwa arus catu stator mengandung komponen sinyal yang mempunyai korelasi dengan segala sesuatu yang terjadi pada komponen elektrik maupun komponen mekanik. Apabila karakterisasi arus catu stator dapat dilakukan dengan baik, tidak tertutup kemungkinan berbagai hal

yang terlihat pada sinyal getaran mekanik dapat pula terbaca pada sinyal getaran elektriknya.

Melihat potensi kemudahan dalam pelaksanaan pengukurannya, serangkaian penelitian tentang pemantauan kondisi motor listrik dengan memanfaatkan analisis arus catu telah dilakukan oleh penulis bersama Prayoga [1] pada tahun 1996, Akhmaruddin [4] pada tahun 1999, Sentana [2] pada tahun 2000 dan Darmawan [3] pada tahun 2001. Serangkaian percobaan tersebut dilakukan terutama guna memperoleh hasil yang makin sempurna seiring dengan sumber kepustakaan yang semakin banyak dan komprehensif.

Dengan berbekal landasan teori yang berasal dari buku acuan para praktisi, penelitian eksperimental awal [1] dilakukan pada motor induksi yang diberi batang rotor rusak buatan. Analisis ciri arus catu memberikan hasil yang menjanjikan, namun hal sebaliknya terjadi dengan analisis getaran mekanik. Spektrum getaran mekanik yang diperoleh menunjukkan sejumlah puncak yang secara konsisten muncul tetapi tidak dapat teridentifikasi sebagai ciri getaran. Oleh karena itu, penelitian kemudian dilanjutkan oleh penulis bersama Sentana [2]. Penggunaan benda uji berupa motor berdaya besar (7.5 hp) pada kedua penelitian tersebut ternyata menimbulkan berbagai kesulitan dalam pelaksanaan. Untuk mengatasi hal itu, penulis bersama Darmawan [3] mencoba menggunakan motor berdaya kecil sebagai alternatif. Seperti yang akan diulas berikut ini, sinyal getaran dan arus catu yang dibangkitkan oleh kerusakan pada motor kecil terbukti cukup kuat sehingga tidak terkubur oleh sinyal lainnya.

2. EKSITASI ELEKTRIK

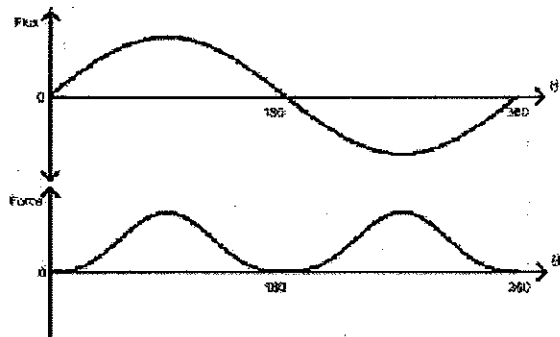
Di samping sumber eksitasi getaran yang umumnya dijumpai pada berbagai mesin seperti rotor, bantalan dan poros, motor listrik mempunyai sumber eksitasi getaran lain yaitu medan magnet antara stator dan rotor. Proses konversi dari energi elektrik menjadi energi mekanik berawal pada komponen elektrik dan berakhir pada komponen mekanik. Dengan demikian getaran yang merupakan denyut nadi kehidupan motor listrik akan berisi komponen-komponen yang dibangkitkan di sepanjang proses tersebut.

Motor listrik secara mekanik tidak berbeda dari mesin rotasi lainnya, yang terdiri atas komponen rotasi berupa rotor, poros dan bantalan serta stator. Rotor berputar karena ada interaksi antara rotor dan stator berupa gaya atau momen. Pada motor listrik gaya ini adalah gaya yang ditimbulkan oleh medan magnet pada celah udara antara rotor dan stator. Interaksi rotor-stator ini di samping menghasilkan daya gerak juga menimbulkan berbagai komponen sinyal pada arus catu stator dan pada getaran mekanik badan motor.

Frekuensi Jala-jala, F_j dan $2x$ Frekuensi Jala-jala, F_e .

Berbagai getaran pada motor listrik dapat dipandang berasal dari satu sumber yaitu tegangan catu yang bervariasi secara sinusoidal dengan frekuensi F_j seperti yang terlihat pada Gambar (1) atas. Tegangan catu ini,

oleh kumparan diubah menjadi gaya elektromagnetik yang mencapai harga maksimum ketika arus yang melalui kumparan stator mencapai harga maksimum (positif maupun negatif). Sebagai hasil, gaya elektromagnetik antara stator dan rotor bervariasi secara sinusoidal dengan frekuensi $2x$ frekuensi jala-jala, F_e , seperti terlihat pada Gambar (1) bawah.



Gambar 1 Fluksi dan gaya elektro magnetik pada motor 2 pole.

Frekuensi Slip, F_s .

Frekuensi slip merupakan selisih kecepatan putar medan magnet F_m dengan kecepatan putar rotor F_r , yang dapat ditulis sebagai

$$F_s = F_m - F_r = (2x F_j / p) - F_r \quad (1)$$

di mana F_j = frekuensi jala-jala dan p = jumlah pole.

Selain dinyatakan dengan rumus di atas, perbedaan kecepatan putar medan magnet dengan kecepatan putar rotor dapat dinyatakan sebagai slip

$$s = 1 - (F_r / F_m) \quad (2)$$

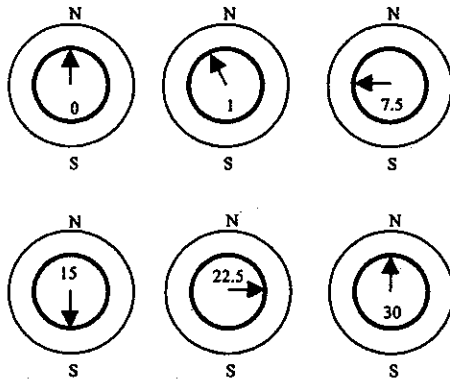
Frekuensi slip merupakan parameter penting dalam memahami berbagai getaran (mekanik dan elektrik) yang terjadi pada motor listrik (dalam keadaan normal maupun tidak) seperti dibahas berikut ini.

Frekuensi slip dalam fenomena batang rotor rusak secara sederhana diperlihatkan pada Gambar (2), yang melukiskan perjalanan relatif suatu titik pada tepi rotor (anggap mewakili batang rotor) dari motor induksi 2-pole dengan kecepatan putar 2900 rpm selama satu siklus slip. Motor ini mempunyai frekuensi slip sebesar 3000 rpm - 2900 rpm = 100 rpm, yang berarti satu siklus slip terjadi setelah 30 putaran medan magnet stator. Arah panah menunjukkan orientasi sebuah titik pada tepi rotor, sedang angka di tengah rotor menyatakan jumlah putaran yang telah ditempuh oleh medan magnet stator.

Enam skema pada Gambar (2) menyatakan enam posisi rotor ketika medan magnet stator telah menempuh 0, 1, 7.5, 15, 22.5, dan 30 putaran. Dalam pada itu, dengan anggapan medan magnet stator berputar searah dengan

putaran jarum jam, posisi rotor mengalami keterlambatan seperti yang dinyatakan oleh arah panah, berturut-turut 0°, 12°, 90°, 180°, 270°, dan 360°. Ini berarti bahwa, untuk motor 2 pole, suatu titik pada tepi rotor akan bertemu dengan pole dua kali dalam satu siklus slip.

Dengan rumusan yang lebih umum, suatu batang rotor pada motor dengan jumlah pole p akan mengalami pertemuan dengan pole magnet sebanyak p kali dalam satu siklus slip. Arus listrik maksimum mengalir pada batang rotor pada saat batang rotor bertemu pole dan kemudian menurun ketika batang rotor menjauhi pole. Akibatnya gaya tarik menarik antara batang rotor dan pole, torsi rotor dan arus rotor akan membesar dan mengecil seiring dengan frekuensi slip F_s kali jumlah pole p.



Gambar 2 Satu siklus slip pada motor 2 pole [9]

Induksi antara rotor dan stator memungkinkan variasi arus rotor direfleksikan ke kumparan stator sehingga modulasi akan terjadi pada gelombang arus catu seperti terlihat pada Gambar (3).

Di sisi getaran mekanik, gaya tarik menarik antara pole magnet dengan batang rotor yang bervariasi dengan frekuensi pF_s , mempengaruhi getaran masa tak seimbang sehingga amplitudonya termodulasi seperti terlihat pada Gambar (3).

Dalam domain frekuensi, modulasi tersebut menjelma menjadi side-bands di sekitar frekuensi dasar F_1 atau F_s dengan jarak

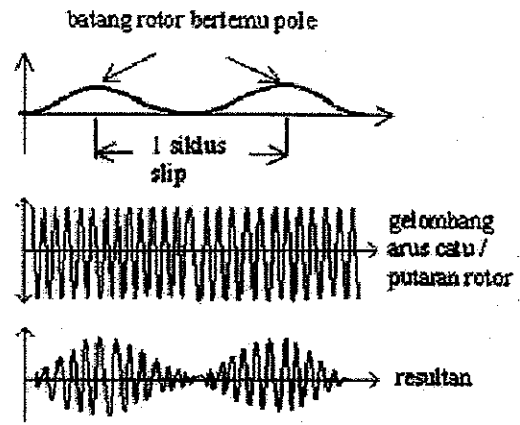
$$F_{sb} = S_1 \times p = 2s \times F_1 \quad (3)$$

Pada spektrum arus catu, side-bands hanya muncul di sekitar harmonik ganjil dari frekuensi jala-jala yang bukan kelipatan 3, sesuai dengan rumus [10]

$$m = 0.5NI \{ \cos((3-2s)\omega t - 3\theta) - \cos((1-2s)\omega t - \theta) \} \quad (4)$$

yang mana m = arus induksi dari rotor ke stator, N = jumlah lilitan kumparan rotor, I = arus rotor,

ω = kecepatan putar medan magnet, θ = sudut fasa, s = slip.



Gambar 3 Modulasi amplitudo arus catu (50 Hz) atau getaran putaran rotor (1 x rpm) Motor 2 pole

Prakiraan Tingkat Kerusakan

Selanjutnya estimasi tingkat kerusakan batang rotor menurut [9] dapat dihitung berdasar analisis spektrum arus catu dengan mengacu pada pembacaan amplitudo $F(1)$ dan $F(2)$, yang mana

$$F(1) = F_1 \quad (5)$$

$$F(2) = p \times F_s - F_1 \quad (6)$$

Kemudian jumlah batang rotor rusak adalah

$$N = 4R/(D + P) \quad (7)$$

yang mana R = jumlah slot stator, $D = 10^C$, C = harga mutlak $((A-B)/20)$, sedang A dan B adalah amplitudo pembacaan $F(1)$ dan $F(2)$ dalam dB.

Pendekatan yang lebih sederhana dikemukakan oleh Klیمان et al [6], yang diperoleh melalui analisis spektrum arus catu dari sejumlah sampel, yang hasilnya tertera dalam Tabel 1 berikut.

Tabel 1 Tingkat kerusakan dan amplitudo relatif side-band kiri

Tingkat kerusakan batang rotor (rotor bar)	Amplitudo side-band kiri*
Batang rotor baik	<-60 dB
Batang rotor retak	-60 dB sampai -54 dB
Batang rotor rusak parsial	-50 dB sampai -54 dB
1 buah batang rotor patah	-46 dB sampai -50 dB
2 buah batang rotor patah	-42 dB sampai -46 dB
3 buah batang rotor patah	-38 dB sampai -42 dB
4 buah batang rotor patah	-34 dB sampai -38 dB

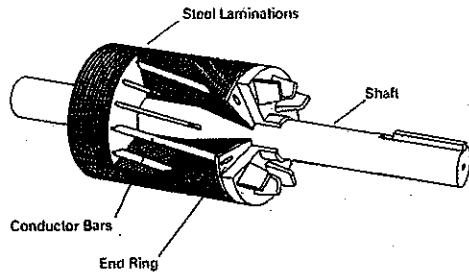
Catatan: *) relatif terhadap amplitudo pada frekuensi jala-jala.

• Seperti ditulis di atas, kerusakan batang rotor juga dapat dideteksi melalui analisis getaran mekanik yaitu berupa kenaikan amplitudo side-bands berjarak $2sF_s$ dari frekuensi rotor. Namun demikian, belum ada laporan

tentang penggunaannya lebih lanjut untuk penentuan tingkat kerusakan.

3. SETUP PERCOBAAN

Konstruksi rotor pada motor induksi dapat dilihat pada Gambar (4), yang sering disebut rotor sangkar (*squirrel cage rotor*). Rotor jenis ini terdiri atas inti berupa lapisan baja lunak (*steel laminations*), sejumlah batang rotor (*rotor bar*) yang dipasang membujur di sekeliling inti dan cincin ujung (*end rings*) yang menghubungkan batang-batang rotor menjadi satu kesatuan menjadi "kumparan" rotor. Pada batang rotor akan terjadi arus listrik akibat induksi dari medan magnet stator.



Gambar 4 Rotor sangkar motor induksi

Dalam penelitian ini batang rotor rusak dibuat dengan memakai gergaji. Penggergajian dalam arah tegak lurus poros dengan kedalaman yang bertahap dilakukan untuk mensimulasikan tingkat kerusakan batang rotor yang berbeda.

Dalam rangka menguji keabsahan rumusan yang telah dibahas di bab 2, dibuatlah perangkat uji yang secara skematis ditunjukkan pada Gambar (5), (6) dan (7).

Perangkat uji terdiri atas: (1) motor induksi (asinkron, 3 fasa, 1/4 hp, 2 pole, jumlah slot stator 18), (2) generator arus searah, (3) elemen pemanas sebagai beban yang dapat diatur dan (4) perangkat instrumentasi.

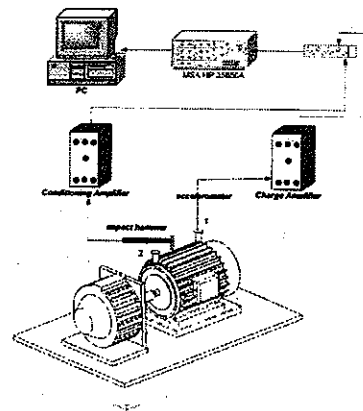
Analisis modal dengan menggunakan metode elemen hingga dilakukan terhadap rancangan dudukan motor generator untuk memprediksi karakteristik dinamikanya. Ukuran dan geometri landasan dengan frekuensi pribadi di atas rentang frekuensi pengukuran dengan demikian dapat ditentukan.

Perangkat instrumentasi terdiri atas MSA HP 3566-67A yang dilengkapi dengan komputer PC, *accelerometer*, *current transformer* (trafo arus), *conditioning amplifier* dan paku untuk eksitasi.

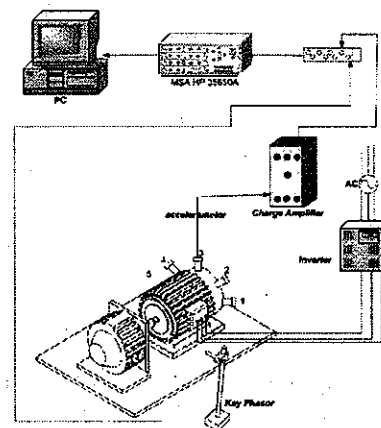
Perangkat instrumentasi difungsikan dalam tiga macam konfigurasi, masing-masing untuk pengukuran FRF (*frequency response function*), pembuatan peta spektral dan pengukuran spektrum daya.

Untuk pengukuran FRF, pembuatan peta spektral dan pengukuran spektrum daya digunakan sebuah *accelerometer* yang dipasang pada badan motor (stator).

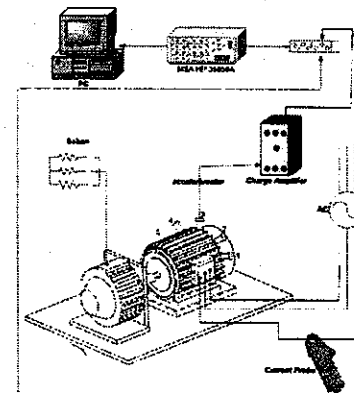
Trafo arus (*clip on current transformer*) untuk mengukur "getaran" arus catu dipasang dengan mengaitkannya pada salah satu dari tiga kabel catu daya ke motor seperti terlihat pada Gambar (7).



Gambar 5 Skema perangkat uji untuk pengukuran FRF



Gambar 6 Skema perangkat uji untuk pembuatan peta spektral



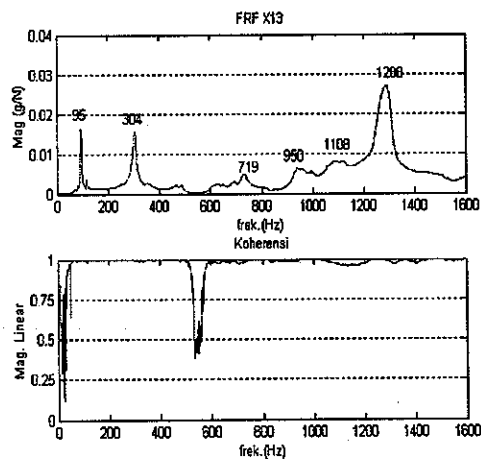
Gambar 7 Skema perangkat uji untuk pengukuran spektrum daya

Diperlukan resolusi frekuensi yang memadai untuk melihat secara jelas *side-bands* di sekitar frekuensi jala-jala dan frekuensi putaran rotor. Resolusi yang tidak memadai menyebabkan *side-bands* menyatu dengan F_1 dan F_r . Untuk memperoleh resolusi frekuensi sebesar 0.25 Hz per garis, pengukuran dilaksanakan dengan rentang frekuensi 800 Hz dengan 3200 garis frekuensi. Tiga tingkat pembebanan diterapkan pada generator, terutama untuk menimbulkan slip sehingga frekuensi *side-band* yang terjadi cukup jauh dari frekuensi dasarnya.

4. HASIL PERCOBAAN DAN ANALISIS DATA Karakteristik Dinamik Setup Pengujian

Pengujian FRF dan pembuatan peta spektral dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik dinamik motor-generator set beserta rangka dudukannya. Dengan mengetahui karakteristik dinamik tersebut, eksperimen dapat dilakukan pada rentang frekuensi di luar daerah resonansi, sehingga getaran mekanik yang terukur merupakan respons yang tidak tercemar oleh *back ground signals* secara berlebihan.

Dari Gambar (8) dan (9) dapat disimpulkan bahwa perangkat uji memenuhi persyaratan untuk digunakan dalam penelitian ini. Terlihat bahwa frekuensi pribadi perangkat uji seperti yang terlihat dari FRF maupun peta spektral (95 Hz dan 305 Hz) berada cukup jauh diatas frekuensi yang akan menjadi ciri dari batang rotor rusak (41 ~ 59 Hz).



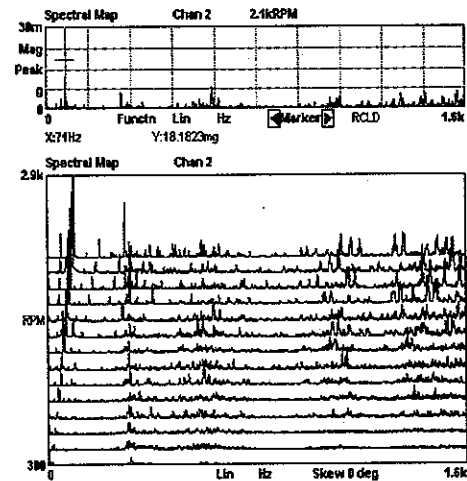
Gambar 8 *Frequency response function* perangkat uji

Spektrum Arus Catu

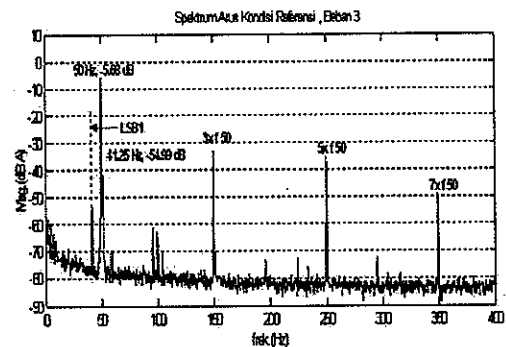
Pengukuran selanjutnya dilakukan dengan trafo arus untuk menghasilkan spektrum daya. Gambar (10) menunjukkan spektrum daya dari arus catu pada motor dalam kondisi normal, sedang Gambar (11) menunjukkan parameter yang sama untuk motor dengan batang rotor rusak. Perlu dicatat di sini bahwa hasil pada Gambar (10) dan (11) diperoleh melalui pengujian pada kondisi pembebanan yang sama (beban tingkat 3).

Seperti terlihat pada Gambar (10) dan (11), di sekitar frekuensi jala-jala (50 Hz) terdapat *side-bands* yang

berjarak sekitar 8 Hz dari frekuensi dasarnya. *Side-band* sebelah kiri jelas terlihat lebih tinggi dari pada *side-band* sebelah kanan.



Gambar 9 Peta spektral perangkat uji



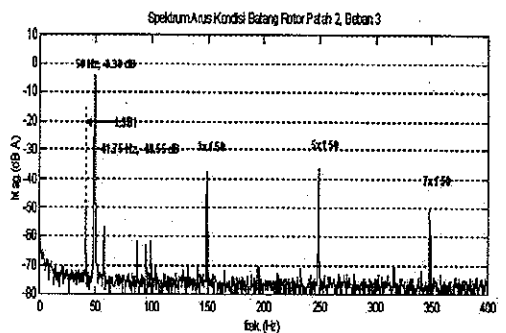
Gambar 10 Spektrum daya arus catu motor normal

Penting untuk diperhatikan bahwa untuk kerusakan tingkat 2, *side-bands* juga muncul di sekitar harmonik ke 3, 5 dan 7 dari frekuensi jala-jala (150 Hz). Hal ini menyalahi teori [9, 10] yang menyatakan bahwa batang rotor rusak tidak menyebabkan munculnya *side-bands* di sekitar harmonik ganjil kelipatan 3 dari frekuensi jala-jala. *Side-bands* tersebut dapat saja berasal dari kerusakan yang timbul pada inti rotor akibat penggergajian yang memerlukan penelitian tersendiri.

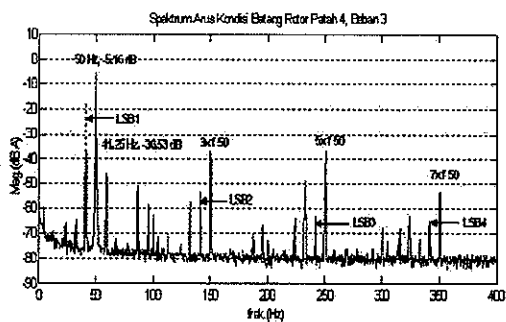
Sesuai dengan yang dijelaskan dalam teori, prediksi kerusakan dilakukan dengan mengacu pada *side-band* kiri. Dapat dilihat bahwa amplitudo komponen getaran pada frekuensi tersebut meningkat bila kerusakan batang rotor makin parah. Untuk memastikan bahwa *side-band* tersebut berjarak $2 sF_1$ dari frekuensi jala-jala dilakukan perhitungan singkat sebagai berikut. Dari hasil pengukuran diperoleh kecepatan rotor disekitar 2760 rpm yang berarti ada slip sebesar 8 % sehingga jarak frekuensi *side-band* terhadap frekuensi jala-jala dapat dihitung

$$F_{sb} = (2)(8\%)(50 \text{ Hz}) = 8 \text{ Hz} \quad (8)$$

Dari Gambar (10) dan (11) dapat dibaca amplitudo relatif *side-band* kiri berturut-turut sebesar - 55 dB, - 49.6 dB dan - 36.5 dB. Dengan mengacu pada Tabel 1 dapatlah diartikan bahwa spektrum pada Gambar (10) mewakili kasus kerusakan batang rotor parsial, sedang Gambar (11a) dan Gambar (11b) masing-masing mewakili kasus dengan 2 batang rotor patah (kurang lebih) dan 4 batang rotor patah (kurang lebih). Perlu dicatat bahwa jumlah batang rotor yang patah tidak dapat dibuktikan secara visual karena letaknya di dalam rotor.



a. Tingkat kerusakan 1



b. Tingkat kerusakan 2

Gambar 11 Spektrum daya arus catu pada motor dengan batang rotor rusak

Spektrum Getaran

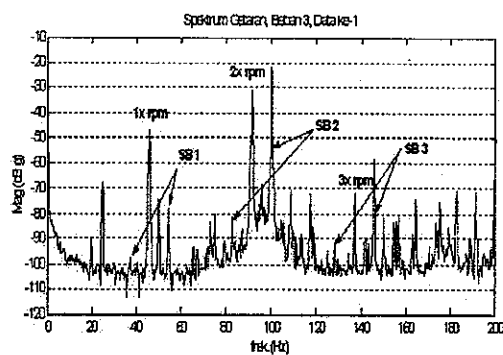
Gambar (12) dan (13) menunjukkan spektrum daya dari getaran rangka motor, yang pertama dalam kondisi normal dan yang kedua dengan batang rotor rusak. Kedua spektrum daya tersebut diperoleh dari hasil pengukuran yang diambil secara bersamaan dengan spektrum daya arus catu pada Gambar (10) dan (11). Untuk mempermudah dalam mengartikan kedua Gambar tersebut, terlebih dulu prakiraan frekuensi *side-band* dibuat dengan hasil seperti yang tertera dalam Tabel 2.

Dengan mengacu pada Tabel 2, puncak-puncak yang menyatakan *side-bands* dapat diberi tanda seperti tertera pada gambar tersebut. Berbeda dengan spektrum arus catu, spektrum getaran mempunyai *side-band* kanan lebih tinggi dari pada *side-band* kiri. Hasil serupa diperoleh dalam [1, 2], yang menurut [6] merupakan ciri dari kerusakan komponen elektrik.

Tabel 2 Prakiraan frekuensi *side-band*

Beban	F_r (1x rpm)	Slip	Jarak frekuensi side bands terhadap F_r
0	49.5 Hz	0.01	1.0 Hz
1	48.1	0.0375	3.61
2	46.9	0.0625	5.86
3	45.8	0.085	7.78

Amplitudo relatif *side-band* kanan yang dinyatakan dalam Gambar (11), (12a) dan (12b) berturut-turut adalah 30 dB, 30 dB dan 24.2 dB. Peningkatan amplitudo baru terlihat setelah tingkat kerusakan cukup parah. Ini menunjukkan bahwa gejala kerusakan batang rotor lebih mudah terlihat melalui spektrum arus catu dari pada spektrum getaran.



Gambar 12 Spektrum daya dari getaran rangka motor normal

Salah satu parameter yang perlu diperhatikan dalam pengukuran getaran adalah beban mesin karena beban dapat mempengaruhi amplitudo getaran. Untuk itu dalam penelitian ini juga dikaji pengaruh dari tingkat pembebanan terhadap kenaikan amplitudo *side-bands*, yang hasilnya ditayangkan pada Gambar (13).

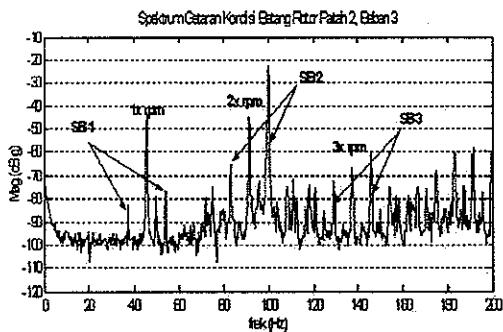
Dari gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa bertambahnya beban meningkatkan amplitudo *side-band* kiri dari spektrum arus walaupun tidak signifikan. Temuan ini sesuai dengan yang dinyatakan dalam penelitian sebelumnya [2] maupun dalam [9]. Oleh karena itu pengukuran untuk memprediksi adanya kerusakan batang rotor disarankan dilakukan pada beban tinggi.

5. KESIMPULAN

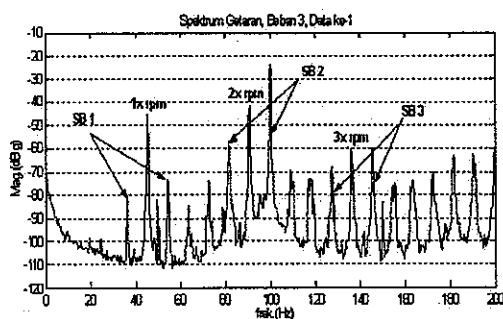
Melalui kaji literatur telah dapat diperoleh perumusan tentang karakteristik arus catu dan getaran badan motor induksi akibat batang rotor rusak yang kemudian ditunjukkan melalui kaji eksperimental.

Analisis spektrum yang dilakukan terhadap arus catu stator membuktikan bahwa komponen getaran pada frekuensi *side-bands* berjarak $2sF_r$ dari frekuensi jala-jala dapat digunakan untuk mendeteksi adanya batang rotor rusak. Dengan membandingkan amplitudo

relatifnya, tingkat kerusakan batang rotor dapat diprediksi.

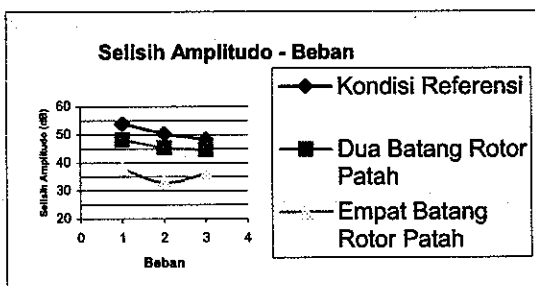


a. Tingkat kerusakan 1



b. Tingkat kerusakan 2

Gambar 13 Spektrum daya dari getaran rangka motor dengan batang rotor rusak



Gambar 13 Amplitudo relatif *side-band* kiri spektrum arus vs. beban

Analisis spektrum terhadap getaran badan motor menunjukkan adanya komponen getaran pada frekuensi *side-bands* berjarak $2sF_1$ dari frekuensi putar yang dapat digunakan untuk mendeteksi adanya batang rotor rusak, tetapi tidak dapat digunakan untuk memprediksi tingkat kerusakannya.

Kenaikan beban menyebabkan peningkatan amplitudo *side-band* kiri dari spektrum arus walaupun tidak terlalu signifikan.

Penelitian ini juga membuktikan kelaikan penggunaan motor berdaya kecil sebagai benda uji. Rasio sinyal terhadap *noise* pada motor uji tersebut cukup besar sehingga sinyal karakteristiknya tetap menonjol. Dengan demikian percobaan serupa dapat dilakukan dengan tingkat kesulitan dan biaya yang lebih rendah.

Pustaka

1. Prayoga, S., *Kaji Eksperimental Sinyal Getaran Arus Listrik dan Mekanik pada Motor Listrik Induksi*, Tugas Sarjana, Jurusan Teknik Mesin ITB, (1996).
2. Sentana, A., *Karakterisasi Sinyal Getaran Mekanik dan Arus Catu Motor Induksi 3-fasa Akibat Batang Rotor Patah Melalui Kaji Eksperimental*, Tesis Magister, Jurusan Teknik Mesin ITB, (2000).
3. Darmawan, H., *Pemantauan Kondisi Eksentrisitas (Rotor Eccentricity) dan Batang Rotor Patah (Broken Rotor Bar) pada Motor Induksi*, Data Penelitian, Departemen Teknik Mesin ITB, (2001).
4. Ahmaruddin, M., *Kaji Teoritik dan Eksperimental Sinyal Arus Stator dan Getaran Badan Motor pada Motor Induksi akibat Eksentrisitas*, Tesis Magister Jurusan Teknik Mesin ITB, (2000).
5. Williamson, S., and Smith, A.C., *Steady-state Analysis of 3-phase Cage Motors with Rotor-bar and End-ring Faults*, IEE Proceedings, Vol. 129, Pt. B, No. 3, pp. 93 – 100, (May 1982).
6. Kliman, G. B., Koegl, R. A., Stein, J. and Endicott, R.D., Madden, M. W., *Noninvasive Detection of Broken Rotor Bars in Operating Induction Motors*, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 3, No. 4, pp. 873 – 879, (December 1988).
7. Deleroi, W., *Broken Bar in Squirrel – Cage Rotor of an Induction Motor, Part I : Description by Superimposed Fault – Currents*, Archiv fur Elektrotechnik 67, pp. 91 – 99, (1984).
8. El Kasabgy, N., Eastham, A. R., and Dawson, G. E., *The Detection and Effects of Broken Bars in Cage Rotor Induction Machines*, IEEE Proceeding, Workshop Electromagn. Field Comput. (Schenectady, NY), pp. G24 – G28, (October 1986).
9. Crawford, A., Crawford, S., *The Simplified Handbook of Vibration Analysis, Vol. 2, Applied Vibration Analysis*, Computational Systems, Inc., Knoxville, TN, (1992).
10. Tavner, P. J. and Penman, J., *Condition Monitoring of Electrical Machines*, Research Studies Press Ltd. & John Wiley & Sons Inc., Great Britain, (1987).
11. Eisenmann, Sr., R.C., Eisenmann, Jr., R.C., *Machinery Malfunction Diagnosis and Correction*, Prentice Hall PTR, New Jersey, (1998).

PANDUAN BAGI PENULIS JURNAL MESIN

UMUM

Naskah asli yang dikirim penulis akan langsung dicetak sebagai isi Jurnal MESIN. Untuk menjamin keseragaman dan kelancaran proses pencetakan, format penulisan naskah harus diperhatikan. Panduan ini memberikan berbagai informasi yang diperlukan untuk penulisan dan pengiriman naskah Jurnal MESIN.

RUANG LINGKUP DAN KRITERIA NASKAH

Redaksi menerima artikel ilmiah berupa hasil penelitian atau hasil studi, baik dalam bentuk kajian teoritik maupun eksperimental atau gabungan keduanya dalam bidang Teknik Mesin. Bidang ini meliputi Teknik Produksi, Konversi Energi, Proses Material, Konstruksi Mesin, Mekatronika, Teknik Dirgantara, dan Aplikasi Sistem Kendali.

Naskah harus berisi informasi yang sah, jelas, serta memiliki kontribusi substantif terhadap bidang kajian. Penulisan harus singkat dan jelas sesuai dengan Format Penulisan Jurnal Mesin dan mempunyai kualitas presentasi yang baik.

Informasi dalam naskah harus belum pernah dimuat atau tidak sedang dalam proses untuk dimuat di media lain, baik media cetak maupun elektronik. Naskah yang pernah disampaikan dalam seminar/ceramah/workshop harus diberi catatan mengenai hal tersebut pada catatan kaki di halaman pertama naskah.

PENGIRIMAN DAN PENILAIAN NASKAH

Satu eksemplar naskah asli yang dikirimkan ke redaksi Jurnal MESIN haruslah naskah yang siap diperbanyak. Naskah tersebut sebaiknya dicetak dengan memakai *printer laser*, atau yang sejenis. Naskah yang dicetak dengan *printer dot matrix* tidak dapat diterima.

Penulis yang pertama kali memasukkan naskahnya ke Jurnal MESIN harus melampirkan biografi ringkas, afiliasi dan alamat lengkap termasuk alamat e-mail (bila ada).

Naskah akan dievaluasi oleh redaksi dan pengkaji ahli. Naskah dapat diterima langsung, diterima dengan perbaikan atau ditolak untuk dimuat. Naskah yang diterima dengan perbaikan akan dikembalikan dan penulis harus memperbaiki naskahnya sesuai dengan semua saran redaksi. Naskah yang ditolak untuk dimuat dalam Jurnal MESIN akan dikembalikan kepada Penulis.

Setiap penulis yang naskahnya dimuat di Jurnal MESIN akan menerima satu eksemplar Jurnal MESIN secara cuma-cuma.

FORMAT PENULISAN NASKAH

Format penulisan Jurnal MESIN dapat dilihat pada halaman berikut. Panduan penulis tersebut sesuai dengan format baku Jurnal MESIN dan dapat dijadikan contoh.

Bahasa yang digunakan adalah Bahasa Indonesia atau bahasa Inggris. Bila menggunakan Bahasa Indonesia, gunakan bahasa yang benar. Penggunaan bahasa dan istilah asing sedapat mungkin dihindari.