



Detection of Stator Winding Short Circuit Faults Through Magnetic Fields In Induction Motors

Deteksi Gangguan Hubung Singkat Belitan Stator Melalui Medan Magnet Di Motor Induksi

Bima Rachmat Ah Ro Ufun¹⁾, Iradiratu Diah Prahmana Karyatanti²⁾, Belly Yan Dewantara³⁾

^{1,2,3)} *Electrical Engineering, Hang Tuah University Surabaya, Indonesia*

¹⁾ *Bimarachmat81@gmail.com* ²⁾ *iradiratu@hangtuah.ac.id*

³⁾ *bellyandewantara@yahoo.com*

Abstract- In applications in the industrial world, the use of induction motors has been widely used in operation because induction motors have many advantages, although they have many disadvantages, induction motors themselves also have disadvantages, namely having high starting currents. In many cases the damage to the induction motor, the damage to the stator due to a short circuit, is a frequent failure, this damage can cause considerable losses because the motor can stop operation So this research will discuss about the detection of short circuit faults in the stator winding through leaky flux using a flux sensor that is placed outside the motor and placed radially and using the Fast Fourier Transform (FFT) method. Damage to the short circuit is done by reconstructing the stator winding of the induction motor. There are two variations of short circuit damage, namely short circuit winding 1 to winding 3 and short circuit winding 2 to winding 10 on an induction motor. The short circuit data is then processed using the Fast Fourier Transform method which produces data in the form of voltage to frequency. The results of the percentage of success of short circuit fault detection seen from the loaders have an average percentage of 50%, at no load conditions can detect short circuit faults by 100%. In conditions of short circuit interruption 1-3 has a success percentage of 30% and short circuit fault 2-10 by 70%. The existence of this system is expected to be able to anticipate any damage that can cause considerable and fatal losses.

Keywords: Stator Winding Short Circuit; Leak Flux Analyzer; Fast Fourier Transform (FFT)

Abstrak- Pada aplikasi didalam dunia industri penggunaan motor induksi telah banyak digunakan dalam oprasionalnya karena motor induksi memiliki banyak kelebihan, meskipun mempunyai banyak kelebihan motor induksi sendiri juga mempunyai kekurangan yaitu memiliki arus *starting* yang tinggi. Dalam banyak kasus kerusakan motor induksi kerusakan stator akibat hubung singkat adalah kerusakan yang sering terjadi, kerusakan tersebut dapat menimbulkan kerugian yang cukup besar karena motor dapat berhenti beroperasi. Maka penelitian ini akan membahas mengenai deteksi gangguan hubung singkat pada belitan stator melalui fluks bocor menggunakan sensor fluks yang diletakkan diluar motor dan diletakkan secara radial serta menggunakan metode *Fast Fourier Transform* (FFT). Kerusakan hubung singkan dilakukan dengan cara merekontruksi belitan stator motor induksi. Ada dua variasi kerusakan hubung singkat yaitu hubung singkat lilitan 1 ke lilitan ke 3 dan hubung singkat lilitan 2 ke lilitan 10 pada motor induksi. Data hasil hubung singkat kemudian diolah menggunakan metode *Fast Fourier Transform* yang menghasilkan data berupa tegangan terhadap frekuensi. Hasil presentase keberhasilan dteksi gangguan hubung singkat dilihat dari pembebannya memiliki presentase rata-rata sebesar 50%, pada kondisi tanpa beban dapat mendeteksi gangguan hubung singkat sebesar 100%. Dalam kondisi gangguan hubugn singkat 1-3 memiliki presentase keberhasilan sebesar 30% dan gangguan hubung singkat 2-10 sebesar 70%. Adanya sistem ini diharapkan bisa dapat mengantisipasi adanya kerusakan yang dapat menyebabkan kerugian yang cukup besar dan fatal.

Kata kunci: Hubung Singkat Belitan Stator; Analisa Fluks Bocor; *Fast Fourier Transform* (FFT)

I. PENDAHULUAN

Pada aplikasi industri motor induksi telah banyak digunakan dalam operasionalnya. Hal ini disebabkan karena motor induksi memiliki konstruksi yang sederhana serta biaya perawatan yang lebih murah di bandingkan motor jenis lain, memiliki keandalan yang lebih tinggi serta tidak memerlukan motor lain untuk *starting*. Meskipun banyak mempunyai kelebihan motor induksi juga memiliki kekurangan yaitu memiliki arus *starting* yang tinggi dan untuk mengatur putaran dan frekuensi lebih sulit.

Dalam penggunaannya motor induksi akan mengalami kerusakan sehingga membuat operasional di industri menjadi terhenti, hal itu akan mengakibatkan kerugian pihak industri dalam bentuk financial, tenaga, dan waktu. Gangguan pada motor ada dua jenis yaitu gangguan eksternal dan gangguan internal, gangguan eksternal adalah gangguan yang terletak pada luar motor yaitu: ketidakseimbangan tegangan suplai, beban lebih motor, gangguan fasa, rotor terkunci, dan lain-lain, sedangkan gangguan internal adalah gangguan yang berasal dari dalam motor yaitu: gangguan ke tanah, gangguan hubung singkat belitan rotor atau stator, kerusakan *bearing*, kerusakan rotor dll. Menurut survey yang telah dilakukan presentase gangguan pada komponen biasanya terjadi pada stator (38%), *bearing* (40%), rotor (10%), dan lainnya (12%) (Jiang dan Halbelter 2017).

Pada komponen stator gangguan hubung singkat sangat sulit di deteksi, terjadinya gangguan ini dikarenakan adanya kegagalan isolasi pada antar belitan yang mengakibatkan terjadinya gangguan hubung singkat. Saat gangguan ini terjadi maka akan terdapat perubahan fluks bocor disekitar rotor. Perubahan fluks tersebut dapat digunakan untuk mendeteksi gangguan hubung singkat pada belitan stator motor. Untuk mengetahui gangguan tersebut yaitu dengan cara menganalisis perubahan fluks menggunakan sensor yang akan dipasang diluar motor, metode ini lebih efisien dibandingkan metode lain karena tidak mengganggu operasi motor saat bekerja. Metode ini memiliki kelebihan dalam kesederhanaan dalam mengimplementasi dan mendiagnosis secara non-invasif. Penelitian untuk mendeteksi gangguan motor dapat menggunakan metode *Motor Current Signature Analysis* (MCSA), dimana deteksi gangguan pada motor dilakukan dengan menganalisis spectrum arus pada motor (Alham *et al* 2018). Pada penelitian tersebut untuk pengolahan spectrum arus dalam mendeteksi kerusakan motor menggunakan transformasi wavelet dengan metode *quadratic discriminant analysis*. Deteksi gangguan melalui analisa fluks dilakukan oleh achmad hadi *et al*, 2019, dimana analisa fluks digunakan untuk mendeteksi gangguan eksentrisitas celah udara pada motor induksi, pemilihan sensor fluks sebagai deteksi kerusakan motor induksi di karenakan memiliki keakurasian yang tinggi. Pengambilan data menggunakan sensor fluks dilakukan secara axial, yaitu mensejajarkan sensor fluks terhadap stator. Dari data tersebut kemudian diolah menggunakan metode *fast fourier transform* (FFT) (Achmad hadi *et al* 2019).

Berdasarkan penelitian diatas maka pada penelitian ini melakukan pengembangan yaitu melakukan deteksi gangguan hubung singkat pada stator motor induksi 3 fasa menggunakan sensor fluks eksternal. Pengambilan data deteksi hubung singkat dilakukan menggunakan *software Labview* dan menggunakan DIAdem sebagai pengolahan data dengan menggunakan metode *fast fourier transform* (FFT). Hasil penelitian inidapat digunakan sebagai alternatif metode deteksi gangguan pada motor induksi. Metode ini dapat mendeteksi kondisi motor dalam keadaan rusak dan sehat. Kelebihan dari penelitian ini adalah dapat mendeteksi gangguan hubung singkat pada saat motor berkerja dan tanpa harus membongkar motor tersebut sehingga tidak merugikan dalam hal tenaga dan biaya untuk perbaikan motor. Setelah melakukan percobaan dan menganalisa pada penelitian ini memperoleh hasil, dimana rata-rata keberhasilan dalam percobaan ini ialah sebesar 50%. Dalam variasi pembebanan pada pembebanan 0% mendapatkan presentase keberhasilan sebesar 100% untuk variasi pembebanan 25% dan 50% mendapatkan presentase keberhasilan sebesar 50% lalu untuk variasi pembebanan 75% dan 100% mendapatkan presentase keberhasilan sebesar 25%. Hasil presentase keberhasilan deteksi hubung singkat menurut variasi gangguan hubung singkat mendapatkan presentase 70% pada variasi gangguan hubung singkat 2-10 dan 30% presentase keberhasilan pada variasi gangguan hubung singkat 1-3. Untuk keberhasilan gangguan hubung singkat sangat efektif dilakukan pada saat motor induksi berada pada kondisi tanpa beban, di karenakan pada saat kondisi tanpa beban dalam penelitian ini presentase keberhasilan bisa mencapai 100%.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Motor Induksi 3 Fasa

Di dalam dunia industri motor induksi 3 fasa sangat sering di gunakan motor induksi memiliki konstruksi yang kuat , memiliki karekteristik yang baik dan biaya perawatannya yang cukup terjangkau. Fungsi motor adalah untuk merubah energi listrik menjadi energi gerak menggunakan konsep induksi. Cara kerja motor induksi adalah arus yang mengalir pada stator akan menimbulkan medan putar yang akan membangkitkan fluks pada rotor dan membuat rotor berputar

2.2 Prinsip kerja motor induksi

Motor induksi mulai berkerja pada saat terminal tiga fasa pada stator motor induksi diberi suplai tegangan tiga fasa seimbang, maka akan mengalirkan arus pada konduktor di tiap belitan fasa stator dan akan menghasilkan fluksi bolak-balik. Amplitudo fluksi per fasa yang dihasilkan berubah secara sinusoidal dan menghasilkan fluks resultan (medan

putar) dengan magnitud yang nilainya konstan yang berputar dengan kecepatan sinkron.

Karena belitan rotor merupakan rangkaian tertutup, baik melalui cincin ujung (*end ring*) ataupun tahanan luar, maka arus akan mengalir pada konduktor-konduktor rotor. Karena konduktor-konduktor rotor yang mengalirkan arus ditempatkan di dalam daerah medan magnet yang dihasilkan stator, maka akan terbentuk gaya mekanik (gaya lorentz) pada konduktor-konduktor rotor. Hal ini sesuai dengan hukum gaya lorentz yaitu bila suatu konduktor yang dialiri arus berada dalam suatu kawasan medan magnet, maka konduktor tersebut akan mendapat gaya elektromagnetik (gaya lorentz)

Seperti yang telah disebutkan di atas maka motor akan tetap berputar bila kecepatan medan putar lebih besar dari pada kecepatan putaran rotor ($ns > nr$). Apabila $ns = nr$, maka tidak ada perbedaan relatif antara kecepatan medan putar (ns) dengan putaran rotor (nr), atau dengan kata lain slip (s) adalah nol. Hal ini menyebabkan tidak adanya ggl terinduksi pada kumparan rotor sehingga tidak ada arus yang mengalir, dengan demikian tidak akan dihasilkan gaya yang dapat menghasilkan kopel untuk memutar rotor.

2.3 Gangguan stator

Gangguan stator dapat dua jenis, yaitu: gangguan di belitan stator dan gangguan di inti stator. Gangguan di belitan stator dapat disebabkan oleh: temperatur yang tinggi pada inti dan belitan, kontaminasi akibat minyak, kelembaban dan lain-lain, kerusakan pada ujung belitan, hubung singkat, pembebanan pengasutan, electric discharge, bocor pada sistem pendinginan. Awal mula terjadinya gangguan hubung singkat adalah dengan munculnya partial discharge dikarenakan faktor tekanan lingkungan dan juga cacat bawaan dari motor. Terjadinya hubung singkat dimulai bertahap dari hubung singkat temporer dengan durasi pendek arus pendek (impedansi tinggi) menuju gangguan permanen arus tinggi.

Kerusakan yang terjadi pada belitan stator dapat menyebabkan motor induksi mengalami ketidak normalan putaran sehingga arus stator mengandung harmonisa dengan frekuensi kerusakan bisa diprediksi dengan persamaan dibawah ini

$$F_{st} = |f_s \pm f_p|$$

Dimana f_{st} merupakan frekuensi kerusakan stator, f_p merupakan frekuensi prediksi kerusakan belitan Stator, dan f_s merupakan frekuensi sumber listrik (50 atau 60 Hz). Kerusakan yang terjadi pada belitan Stator memberikan komponen harmonic dalam spectrum arus pada frekuensi. sehingga frekuensi kerusakan bisa terlihat dengan persamaan berikut:

$$fst = fs \left[\frac{1-s}{p} \right]$$

Dimana f_{st} merupakan frekuensi prediksi kerusakan belitan stator, f_s merupakan frekuensi sumber listrik (50 atau 60 Hz), p merupakan jumlah pasang kutubdan s merupakan nilai slip kecepatan.

2.4 Fluks analisis

Metode dalam memonitoring suatu kondisi mesin, telah berkembang dengan menggunakan analisis *magnetic field*. *Stray flux* adalah fluk magnet yang terradiasi oleh bagian dalam body mesin dan terhubung secara langsung pada magnetic mesin. Adanya *stray flux* dihasilkan oleh arus stator dan rotor yang mempunyai perbedaan komponen spectral. Memonitor fluks bocor karena adanya gangguan merupakan Teknik yang sama seperti mendeteksi perubahan arus harmonisa secara tidak langsung melalui spektrum sinyal fluks. Kelebihan dari metode Analisa fluks ini adalah kemampuan dalam pengukuran non-invasif, dapat diimplementasikan secara sederhana, dan dengan biaya yang murah. Jika dibandingkan dengan Analisa menggunakan metode MCSA, Analisa fluks memiliki kelebihan lebih sensitif, handal, dan cocok digunakan untuk medeteksi gangguan awal di mesin induksi. Salah satu sensor yang bisa digunakan untuk mengukur fluks yaitu Rogowski koil. Rogowski koil adalah suatu tranduser dari arus menjadi tegangan. Prinsip dari sensor tersebut adalah karena ketidakhomogenan dari fluks magnet yang dihasilkan oleh konduktor utama Rogowski koil dari koil sekunder. Memonitor fluks bocor karena adanya gangguan merupakan teknik yang sama seperti mendeteksi perubahan harmonisa secara tidak langsung melalui spektrum sinyal fluks. Kelebihan dari metode analisa fluks ini adalah kemampuannya dalam pengukuran secara non-invasif, dapat diimplementasikan secara sederhana, dan dengan biaya yang murah. Jika dibandingkan dengan Analisa menggunakan metode MCSA, Analisa fluks memiliki kelebihan lebih sensitif, handal, dan cocok digunakan untuk medeteksi gangguan awal di mesin induksi. Namun untuk mengukur besarnya stray flux ini akan sulit karena tergantung dimana stray flux ini muncul di badan motor induksi. Diperlukan sensor yang akurat dan mempunyai kesensitifitas yang tinggi agar mendapatkan hasil pengukuran stray flux yang akurat dan maksimal. Sensor magnet sendiri terdiri dari dua jenis yaitu primary magnegtic sensor dan secondary magnetic sensor. Primary magnetic sensor sering disebut dengan magnetometer, yaitu alat yang digunakan untuk mendeteksi ada atau tidaknya benda logam dengan cara mendeteksi fluks/anomali magnetik. Dari teknologi yang sudah berkembang terdapat beberapa jenis magnetometer yang berfungsi dalam elektronik instrument portable. Penelitian kali ini menggunakan sensor fluks dengan jenis ELF Gauss meter. Alat pengukuran ini digunakan untuk menangkap stray flux yang keluar dari badan motor. Salah satu jenis teknologi dalam magnetometer adalah menggunakan sensor koil. Sensor koil ini dibuat berdasarkan hukum Faraday. Menurut hukum induksi faraday, gaya gerak listrik dihasilkan dari loop tertutup ketika diletakkan pada tempat yang mempunyai medan magnet bervariasi terhadap waktu. Tegangan induksi atau gaya gerak listrik yang diinduksikan pada sepanjang koil dalam kumparan sebanding dengan perubahan medan magnet dalam kumparan. Supaya koil dapat bekerja, kumparan harus dalam medan magnet yang

bervariasi atau bergerak melalui medan magnet. Koil yang terbuat dari tembaga dengan 47 lilitan dan luas penampang 5 cm² digunakan pada probe sensor ini. Sensor coil sangat cocok digunakan karena sensor koil mempunyai sensitivitas lebih tinggi dibandingkan Hall effect sensor pada frekuensi lebih dari 30 kHz. Keluaran sensor koil ini akan menyampai tinggi maksimal tegangan 6Volt yang dihasilkan dari kerapatan fluks magnet 200mG dan frekuensi 200kHz

Sensor Fluks Sensor ini terbuat dari bahan khusus vitrovac 6025, dan duan buah *probe*, yaitu *probe* yang digunakan untuk kumparan primer (pengeksitasi atau *exitation coil*) dan *probe* skunder yang digunakan untuk penangkap atau *pick up coil*. Sensor ini emiliki sensisitivitas yang meningkat dengan meningkatnya jumlah beltan kumparan sekunder atau mengkatnya suhu operasi (djamal et al., 2007). Sensor fluks yang di pakai pada penelitian ini menggunakan sensor ELF Gaussmeter

2.5 Fast Fourier Transform (FFT)

FFT (*Fast Fourier Transform*) adalah suatu algoritma untuk menghitung DFT (Discrete Fourier Transform) dengan lebih cepat dan efisien. FFT digunakan untuk mempresentasikan sinyal dalam domain waktu diskrit dan domain frekuensi. Kelebihan menggunakan FFT adalah mengurangi kompleksitas transformasi yang dilakukan DFT, dan juga waktu transformasi yang lebih cepat. FFT dipergunakan untuk mengurangi kompleksitas transformasi yang dilakukan dengan DFT

III. METODE PENELITIAN

3.1 Konfigurasi sistem

Untuk mendeteksi gangguan hubung singkat dalam penelitian ini dilakukan melalui analisa frekuensi di area sekitar motor induksi dengan menggunakan sensor fluks untuk pengambilan data. Hasil dari pengambilan data diolah melalui metode *fast fourier transform*. Untuk itu beberapa peralatan yang di butuhkan pada penelitian ini adalah sumber tegangan AC, motor induksi 3 phasa, sensor fluks, yang dapat di lihat pada gambar 1:

[Figure 1 about here.]

Sumber tegangan AC 380 volt dalam penelitian ini digunakan sebagai sumber tegangan untuk menjalankan motor induksi 3 fasa dengan kapasitas motor sebesar 2 HP atau sama dengan 1.5 KW. Motor induksi 3 fasa diberikan beban mekanin dan elektrik berupa generator dan lampu yang difungsikan sebagai sistem pengukuran. Agar beban dan motor induksi dapat menyatu maka cara yang dilakukan adalah dengan mengkopel motor dengan generator yang disambungkan ke lampu. Adapun alat-alat penunjang yang digunakan dalam penelitian ini untuk pengukuran sinyal tegangan dalam penelitian ini menggunakan komputer yang memiliki perangkat lunak berupa LabView, Diadem, serta NI DAQ-9755 yang berfungsi untuk akuisisi data tegangan pada

penelitian ini. Alat akuisisi data tegangan akan terintegrasi dengan perangkat lunak LabView yang bertujuan agar mempermudah untuk melakukan pemilihan data frekuensi sampling. Hasil data pengukuran yang sudah di dapat selanjutnya akan diolah menggunakan metode *fast fourier transform*, data hasil yang sudah di olah menggunakan metode *dast fourier transform* selanjutnya akan diolah kembali kedalam *software* Matlab agar mendapatkan Domain Amplitudo terhadap frekuensi.

3.2 Pembebanan Pada Motor Induksi

Pada motor induksi beban maksimal yang diberikan dibatasi dengan kapasitas daya motor sekitar 1500 Watt, beban motor induksi akan diberikan dalam bentuk persen dimana 100% adalah beban maksimum atau 1500 watt dan arus nominal pada rating motor sebesar 3,68 A hasil tersebut didapat dari penjumlahan beban yang diterima oleh motor induksi. Variasi beban dalam percobaan ini memiliki beberapa variasi pembebanan dimana kondisi awal yang diberikan pada motor adalah beban 0% yaitu dimana motor tanpa beban. Kondisi yang berikutnya ialah motor akan dihubungkan dengan generator sinkron dan output generator dihubungkan dengan beban lampu pijar yang secara bertahap hingga memcapai beban 25%, beban 50%, beban 75% dan beban penuh 100% Data pembebanan yang di maksud diatas dapat di lihat pada pada table berikut:

[Table 1 about here.]

Pembebanan yang memiliki beberapa variasi ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan yang di timbulkan akibat hubung singkat di setiap variasi pembebanan. Sistem kerja Pembebanan ini adalah beban generator memberikan beban lampu yang membuat daya output pada generator akan ikut naik apabila daya keluaran generator semakin besar maka torsi generator akan ikut naik. Hal ini membuat generator yang dikopel dengan motor induksi akan membuat kecepatan pada motor induksi turun. Hal itu yang membuat motor menjadi terbebani sesuai kenaikan beban lampu yang diberikan. Untuk beban lampu yang di berikan pada percobaan ini ialah beban lampu sebanyak 10 buah dimana masing masing lampunya memiliki daya 100 watt.

3.3 Rekrontuksi gangguan hubung singkat

Motor induksi normal memiliki belitan spul sebanyak 12 terminal yang terpasang pada motor induksi iala keluaran dari setiap belitan pada stator, untuk membuat motor berada dalam kondisi hubung singkat maka dilakukan rekrontruksi hubung singkat dengan cara menghubungkan kabel berdiameter kecil pada terminal yang telah di tentukan. Dalam penelitian ini rekrontuksi Hubung singkat di lakukan pada lilitan ke 1 yang di hubungkan ke lilitan ke 3 dan lilitan 2 di hubungkan ke lilitan 10 pada fasa R.

3.4 Perancangan Sistem Pengukuran dan Pengolahan Data

Dalam penelitian ini pengambilan data tegangan pada stator motor induksi menggunakan alat bantu ELF *Gaussmeter* yang berfungsi sebagai input dari NI-DAQ-9775, pada *probe* yang di miliki oleh ELF *gaussmeter* ini bisa mendeteksi fluks yang berada di area stator. Fluks magnetik yang di tangkap oleh *Probe* tersebut kemudian dibaca oleh NI-DAQ-9775 sebagai sinyal tegangan. *Channel* yang dipakai di NI-DAQ-9775 menggunakan *Channel a0*. Untuk pengukuran sinyal tegangan sendiri dilakukan melalui *Software LabVIEW* Software ini yang digunakan sebagai program utama agar dapat menampilkan dan memerintahkan untuk akuisisi data sinyal tegangan yang berada pada area stator motor induksi 3 fasa. *Software LabVIEW* biasa dikenal dengan sebutan VI atau Virtual Instruments yang dikarena tampilan pada sistem operasinya dapat meniru sebuah peralatan instrumentasi. Terdapat beberapa komponen-komponen penting di dalam *software LabVIEW*, yaitu *front panel* dan *block diagram*. *Front panel* merupakan bagian dari *windows* yang tampilan utama dari *software LabVIEW*. *Front panel* difungsikan untuk membangun sebuah VI, menjalankan program dan mendebug program. Diagram blok ialah bagian *windows* yang berisi *source code* yang menggunakan fungsi representasi grafis untuk mengontrol sebuah objek dari *front panel*. Pengolahan sinyal tegangan yang berada di area stator dilakukan menggunakan *Software DIAdem*. *DIAdem* Berfungsi untuk menampilkan sinyal dari hasil pengambilan data tegangan yang berasal dari *LabVIEW* yang biasanya berformat TDMS, isi dari diagram block terdapat *While loop* yang didalamnya nanti ditambahkan *measurment* akuisi data sinyal tegangan.

Dalam penelitian ini difungsikan untuk pengolah sinyal tegangan dari yang semulanya adalah berupa hasil dari domain waktu yang diubah menjadi domain frekuensi dimana nantinya dilakukan pengamatan data perubahan bentuk frekuensi saat motor mengalami gangguan hubung singkat. Untuk menganalisa data tegangan dalam penelitian menggunakan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT) yang mengubah sinyal tegangan dari domain waktu ke domain frekuensi.

IV. HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA DATA

Agar hasil yang di dapat akurat pada saat analisa, maka dilakukan pengambilan data saat kondisi motor berbeban hal ini dilakukan agar bisa menganalisa efek spektrum frekuensi sinyal tegangan di motor induksi saat dalam kondisi berbeban. Pembeban tersebut juga dilakukan pada saat motor induksi berada pada kondisi hubung singkat. Supaya efek hubung singkat pada motor induksi di dapat maka dilakukanlah pengkopelan ke generator dan dilakukan pembebanan berupa generator. Pembebanan didalam penelitian ini dinyatakan dalam bentuk persen, supaya mendapatkan hasil yang bervariasi sehingga dapat di analisa

maka pembebanan dalam penelitian ini dibuat sebanyak 5 variasi pembebanan. Proses ambil data yang bertujuan untuk menganalisa gangguan hubung singkat menggunakan satu variasi frekuensi resolusi yang dilakukan sebanyak 5 kali

4.1 Perhitungan Persentase Pembebanan

Variasi pembebanan yang digunakan dalam penelitian ialah pembebanan mekanik yang berupa pengkopelan motor induksi dengan generator sinkron yang bertujuan untuk membuat beban bervariasi. Untuk memberi beban bervariasi pada generator sinkron maka diberilah generator sinkron dengan beban listrik yang berupa lampu pijar. Variasi pembebanan sendiri ditentukan dalam bentuk persen mulai dari 0% sampai dengan 100% maka langkah yang diambil agar bisa mengaur beban motor induksi ialah dengan mengukur arus dan $\cos \phi$ di stator motor induksi untuk menentukan daya motor induksi pada kondisi persentase tertentu. Untuk langkah awal yang dilakukan ialah mengambil data motor pada saat motor induksi tidak di kopel dengan generator, selanjutnya motor dikopel dengan generator yang sudah di hubungkan dengan pembebanan berupa lampu pijar yang bervariasi hingga sampai arus pada motor berada pada angka maksimum arus motor/beban penuh. Arus maksimal/beban penuh pada nameplate motor induksi yang dipakai ialah 3,68A. Acuan yang di gunakan pada pembebanan motor induksi ialah beban penuh. Power quality ialah alat yang digunakan untuk pengukurannya. Besarnya daya lampun yang di gunakan dalam penelitian ini ialah 100 watt.

4.2 Pengukuran Slip pada Motor Kondisi Normal dan Kondisi Eksentrisitas

Agar bisa menentukan frekuensi gangguan hubung singkat pada area fundamental maka di perlukan nilai slip motor induksi. Nilai slip motor bisa didapatkan dari perhitungan ketetapan nameplate pada motor induksi untuk ns dan nr dapat di ambil dari hasil pengukuran rpm yang di ukur pada saat motor beroperasi. Berdasarkan persamaan (2.3), hasil dari perhitungan yang didapatkan digunakan untuk mengetahui nilai frekuensi rotor yang kemudia di jumlahkan dengan nilai frekuensi sumber agar dapat mengetahui titik frekuensi gangguan hubung singkat. Contoh perhitungan untuk mencari nilai slip pada beban 0% $S = \frac{1500-1489}{1500} = 0,0073$ Frekuensi yang muncul disekitaran frekuensi fundamental yang memiliki pola berbeda beda frekuensi tersebut yang dinamakan frekuensi gangguan.

4.3 Hasil Analisa Deteksi Gangguan Hubung Singkat

Frekuensi gangguan hubung singkat yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan satu variasi frekuensi yaitu 0,1 Hz. Frekuensi 0,1 Hz dipilih karena untuk memperpanjang waktu pengambilan 10sec dimana banyak data yang dipakai ialah 50Ks lalu frekuensi sampelnya memakai nilai sebesar 5Ks/s. Untuk pengambilan data pada frekuensi 0,1 Hz dilakukan sebanyak 4 kali hal ini bertujuan

untuk agar bisa memilih data yang terbaik pada setiap data. Saat proses analisa agar mendapatkan hasil yang maksimal maka menganalisa deteksi gangguan hubung singkat dilakukan dengan memberikan pembebanan yang bervariasi pembebanan yang di maksud yaitu pembebanan 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Pengujian yang dilakukan untuk penentu motor induksi teridentifikasi dalam keadaan gangguan hubung singkat ialah dengan mengamati adanya perbandingan kenaikan pada amplitudo di frekuensi gangguan hubung singkat. Perbandingan dapat dilihat pada saat motor kondisi normal dan pada saat motor kondisi terjadi gangguan hubung singkat. Setelah dilakukan analisa frekuensi gangguan hbug singkat muncul pada frekuensi 25Hz dan frekuensi 75 Hz di sekitar frekuensi fundamental.

4.4 Analisa spektrum frekuensi gangguan hubung singkat pada beban 0%

Di dalam sub bab ini akan dijelaskan mengenai analisa frekuensi gangguan hubung singkat pada beban 0% yang menggunakan metode FFT (fast fourier transform) di tiga kondisi. Pengambilan data dalam kondisi ini dimulai dari saat motor kondisi normal lalu motor dalam kondisi gangguan hubung singkat pada lilita 1-3 dan dilanjutkan pada motor gangguan hubung singkat pada lilitan 2-10. Hasil sinyal pada motor gangguan hubung singkat dibandingkan dengan motor yang kondisi normal.

[Figure 2 about here.]

[Figure 3 about here.]

[Figure 4 about here.]

[Figure 5 about here.]

Gambar 5 Hasil rata-rata pembebanan 0% sampel 1 sampai 4 di kondisi motor induksi normal, gangguan hubung singkat 1-, dan gangguan hubung singkat 2-10. *warna ungu adalah hasil dari nilai rata-rata yang mengalami kenaikan amplitudo

Didalam table pembebanan 0% merupakan hasil dari analisa percobaan dalam kondisi tanpa beban. Untuk banyaknya sampel yang di ambil pada percobaan tersebut adalah sebanyak 4 kali, terlihat dalam tabel untuk sampel ke 1 hingga sample ke 4 pada setiap kondisi memperlihatkan adanya lonjakan yang terjadi. Pada table dapat di lihat hasil perhitungan di mana pada kolom yang berwarna ungu adalah hasil dari rata-rata sedangkan kolom yang memiliki warna merah ialah kolom yang berfungsi jika nilai hubung singkat dibandingkan dengan motor normal menandakan peringatan lalu jika tabel berwarna hijau maka menandakan bila motor terdeteksi mengalami gangguan. Dalam hasil analisa di percobaan tanpa beban ini terlihat kenaikan amplitudo di setiap kondisi hubung singkat, didalam kondisi normal nilai rata-rata ($fs-fr$) sebesar -13,0925 dB dan -23,7275 dB ($fs+fr$) sedangkan dalam mkeadaan gangguan hubung singkat 1-3 memiliki nilai rata-rata ($fs-fr$) -12,02 dB dan -22,37 dB

($fs+fr$), lalu pada gangguan hubung singkat 2-10 nilai rata-rata ($fs-fr$) -12,655 dB dan -23,365 dB ($fs+fr$), hasil perhitungan analisa menunjukkan kenaikan amplitudo pada gangguan hubung singkat 1-3 pada sisi ($fs-fr$) sebesar 1,0095 dB dan 1,3575 dB pada sisi ($fs+fr$), sedangkan pada kondisi gangguan hubung singkat 2-10 kenaikan amplitudo sebesar 0,4375 dB pada sisi ($fs-fr$) dan 0,3625 pada sisi ($fs+fr$). Maka dapat di simpulkan bahwa pada keadaan tanpa beban percobaan ini dapat mendeteksi adanya gangguan hubung singkat.

4.5 Analisa spektrum frekuensi gangguan hubung singkat pada beban 75%

Di dalam sub bab ini akan dijelaskan mengenai analisa frekuensi gangguan hubung singkat pada beban 75% yang menggunakan metode FFT (fast fourier transform) di tiga kondisi.

[Figure 6 about here.]

[Figure 7 about here.]

[Figure 8 about here.]

Gambar 9 Hasil rata-rata pembebanan 75% sampel 1 sampai 4 di kondisi motor induksi normal, gangguan hubung singkat 1-3, dan gangguan hubung singkat 2-10.

[Figure 9 about here.]

Pada hasil dari pembebanan 75% hasil analisa memperlihatkan kenaikan amplitudo pada kondisi gangguan hubung singkat 1-3 hanya pada sisi ($fs+fr$) kenaikan amplitudo tersebut sebesar 1,3475 dB, sedangkan pada sisi ($fs-fr$) justru mengalami penurunan amplitudo, berbeda dengan kondisi hubung singkat 1-3 di hubung singkat 2-10 kenaikan amplitudo justru terjadi pada sisi ($fs-fr$), kenaikan amplitudo sendiri sebesar 0,3125 dB sedangkan pada sisi ($fs+f$) justru mengalami penurunan.

4.6 Analisa Persentase Keberhasial Deteksi Gangguan Hubung Singkat

Agar dapat mengetahui seberapa besar presentase keberhasilan deteksi gangguan hubung singkat maka perlu dilakukan perhitungan presentase keberhasilan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$\% = \frac{\text{Jumlah data yang terdeteksi gangguan}}{\text{Banyak data}} \times 100$$

Jumlah data yang terdeteksi gangguan hubung singkat ialah data yang memiliki nilai amplitudo pada kondisi gangguan lebih tinggi dari pada nilai amplitudo pada motor normal.

4.7 Presentase Keberhasilan Deteksi Gangguan Hubung Singkat Dengan Menggunakan Hasil Data Rata-Rata Dari Setiap Sampel Berdasarkan Pembebanan

Setelah menganalisa perhitungan pada setiap pembebanan maka di dapatkan hasil rata-rata dari setiap pembebanan. Penggunaan sensor fluks terlihat dapat mendeteksi adanya gangguan hubung singkat, hal ini dilihat dari hasil analisa pada saat kondisi normal sensor fluks dapat mendeteksi adanya lonjakan *amplitude* yang mungkin di sebabkan oleh cacat pabrik. Lonjakan amplitudo yang lebih tinggi dibandingkan saat kondisi normal dapat dijadikan bahan untuk menganalisa prese ntase keberhasilan yang dapat dilihat pada Tabel

[Figure 10 about here.]

*Warna hijau adalah nilai yang terdeteksi hubung singkat

Gambar diatas merupakan hasil analisa presentase keberhasilan deteksi gangguan hubung singkat data kenaikan amplitudo pada rata-rata sample digunakan untuk menganalisa presentasi keberhasilan gangguan hubung singkat bertujuan untuk mendapatkan hasil yang *real* dipenelitian ini. Pada pembebanan 0% penelitian ini dapat mendeteksi adanya gangguan sebesar 100%, namun pada kondisi pembebanan 25% dan 50% penelitian ini hanya dapat mendetemi gangguan hubung singkat sebesar 50%. Pada kondisi 75% hingga 100% hanya dapat mendeteksi gangguan hubung singkat sebesar 25% saja.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kepada Lab mesin listrik teknik elektro Universitas Hang Tuah Surabaya yang telah berkontribusi dalam penelitian ini sehingga penelitian dapat berjalan dengan baik. Ucapan terimakasih kepada Lab Mesin Listrik Teknik Elektro Universitas Hang Tuah Surabaya yang telah berkontribusi dalam penelitian ini sehingga penelitian dapat berjalan dengan baik.

REFERENSI

- [1] C. Jiang, S. Li and T. G. Habetler, "A review of condition monitoring of induction motors based on stray flux," 2017 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), Cincinnati, OH, 2017, pp. 5424-5430
- [2] N. R. Alham, D. A. Asfani, I. M. Y. Negara and B. Y. Dewantara, "Analysis of load and unbalance voltage on air gap eccentricity in detection of three phase induction motor," 2018 International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT), Yogyakarta, 2018, pp. 566-571.
- [3] Liu, Zheng, et al. "Non-invasive winding fault detection for induction machines based on stray flux magnetic sensors." 2016 IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM). IEEE, 2016.
- [4] J. Penman, H. G. Sedding, B. A. Lloyd and W. T. Fink, "Detection and location of interturn short circuit in the stator windings of operating motors," in IEEE

Transactions on Energy Conversion, vol. 9, no. 4, pp. 652-658, Dec. 1994.

- [5] R. Romary, R. Pusca, J. P. Lecointe and J. F. Brudny, "Electrical machines fault diagnosis by stray flux analysis," 2013 IEEE Workshop on Electrical Machines Design, Control and Diagnosis (WEMDCD), Paris, 2013, pp. 247-256.
- [6] A. Hermawan, et al. "Deteksi Kegagalan Isolasi Pada Belitan Stator Motor Induksi Bebasis Fast Fourier Transform," 2019 CITEE, Yogyakarta, 2019.

Conflict of Interest Statement: The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Copyright © 2021 Author [s]. This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) and the copyright owner(s) are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

Received: 2021-02-17

Accepted: 2021-02-28

Published: 2021-04-03

I [Pembebanan Pada Motor Induksi](#)97

Table 1. Pembebanan Pada Motor Induksi

NO	PEMBEBANAN	
	PERSENTASE BEBAN	ARUS BEBAN
1	0%	2,3 A
2	25%	2,72 A
3	50%	3,05 A
4	75%	3,367A
5	100%	3.68 A

1	Konfigurasi Sistem	99
2	Kondisi Normal	99
3	Kondisi Gangguan Hubung Singkat 1-3.....	99
4	Gangguan Hubung Singkat 2-10	100
5	Hasil Rata-Rata Pembebanan 0% sampel 1 sampai 4 di kondisi motor induksi normal	100
6	Kondisi Normal.....	100
7	Kondisi Gangguan Hubung Singkat 1-3.....	101
8	Gangguan Hubung Singkat 2-10	101
9	Hasil Rata-Rata Pembebanan 75% Sampel 1 Sampai 4 Di Kondisi Motor Induksi Normal.....	102
10	Diatas Merupakan Hasil Analisa Presentase Keberhasilan	102

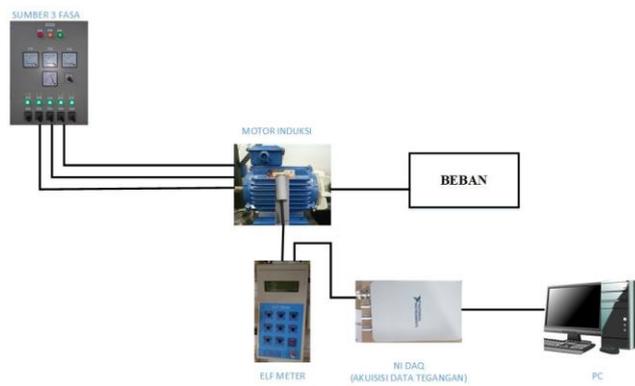


Figure 1. Konfigurasi Sistem

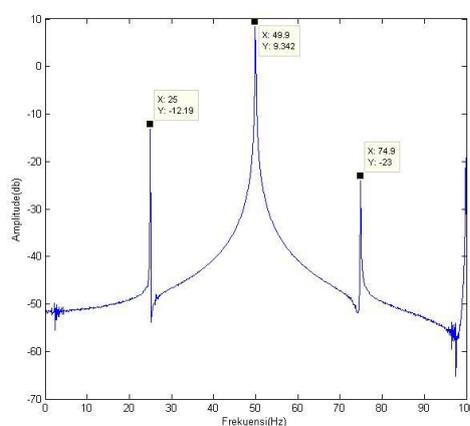


Figure 2. Kondisi Normal

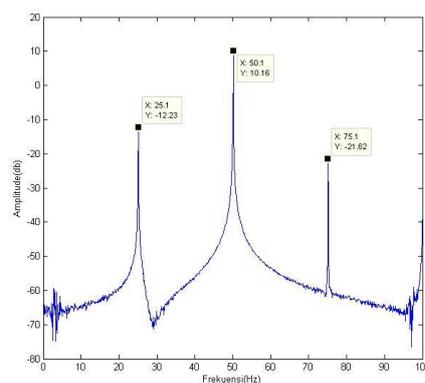


Figure 3. Kondisi Gangguan Hubung Singkat 1-3

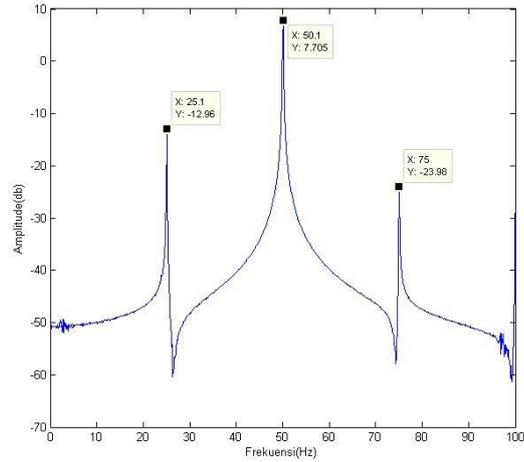


Figure 4. Gangguan Hubung Singkat 2-10

Beban 0% Normal				
	Jumlah Sampel	$(f_s - f_f)$ (dB)	Frekuensi Fundamental (dB)	$(f_s + f_f)$ (dB)
Nilai amplitudo (dB)	Sampel 1	-12,79	9,342	-23
	Sampel 2	-13,06	7,716	-24,04
	Sampel 3	-12,82	7,692	-23,19
	Sampel 4	-13,7	6,258	-24,68
Rata - Rata	-13,0925	7,752	-23,7275	
Beban 0% Gangguan Hubung Singkat 1-3				
	Jumlah Sampel	$(f_s - f_f)$ (dB)	Frekuensi fundamental (dB)	$(f_s + f_f)$ (dB)
Nilai amplitudo (dB)	Sampel 1	-12,23	10,16	-21,62
	Sampel 2	-12,2	10,12	-21,53
	Sampel 3	-12,02	10,2	-21,6
	Sampel 4	-11,66	9,392	-24,72
Rata - Rata	-12,02	9,968	-22,37	
Beban 0% Gangguan Hubung Singkat 2-10				
	Jumlah Sampel	$(f_s - f_f)$ (dB)	Frekuensi fundamental (dB)	$(f_s + f_f)$ (dB)
Nilai amplitudo (dB)	Sampel 1	-12,96	7,705	-23,96
	Sampel 2	-12,49	9,173	-24,3
	Sampel 3	-12,75	7,831	-22,65
	Sampel 4	-13,03	7,707	-24,03
Rata - Rata	-12,655	8,16575	-23,365	

Figure 5. Hasil Rata-Rata Pembebanan 0% sampel 1 sampai 4 di kondisi motor induksi normal

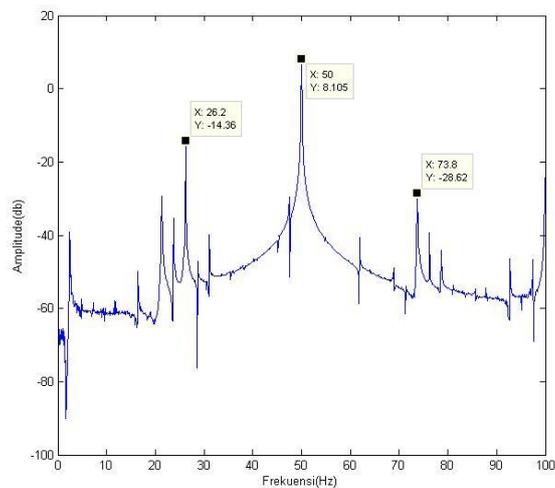


Figure 6. Kondiai Normal

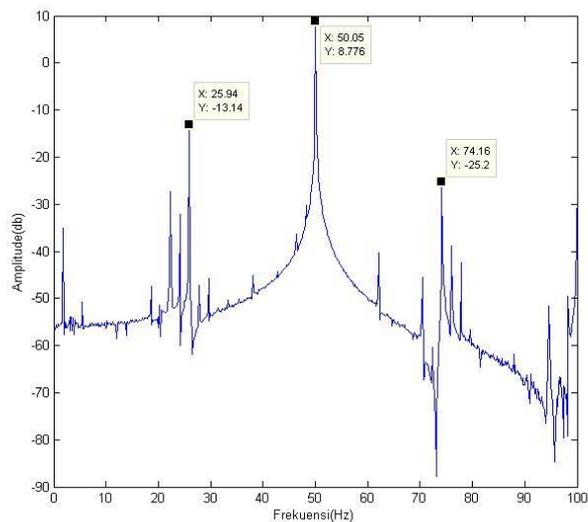


Figure 7. Kondisi Gangguan Hubung Singkat 1-3

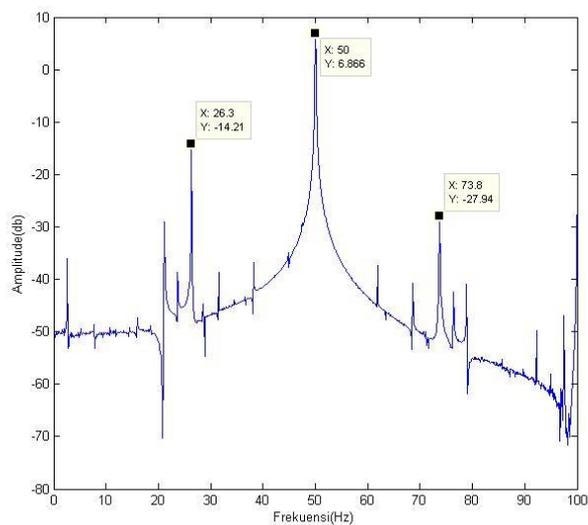


Figure 8. Gangguan Hubung Singkat 2-10

Beban 75% Normal				
	Jumlah Sampel	$(f_s - f_r)$ (dB)	Frekuensi Fundamental (dB)	$(f_s + f_r)$ (dB)
Nilai amplitudo (dB)	Sampel 1	-14,36	8,105	-28,62
	Sampel 2	-14,57	8,035	-26,03
	Sampel 3	-14,56	8,43	-26,39
	Sampel 4	-14,36	8,105	-28,62
Rata - Rata		-14,4625	8,16875	-27,415
Beban 75% Gangguan Hubung Singkat 1-3				
	Jumlah Sampel	$(f_s - f_r)$ (dB)	Frekuensi fundamental (dB)	$(f_s + f_r)$ (dB)
Nilai amplitudo (dB)	Sampel 1	-13,14	8,776	-25,2
	Sampel 2	-14,66	8,35	-25,81
	Sampel 3	-14,99	7,585	-27
	Sampel 4	-15,07	7,627	-26,26
Rata - Rata		-14,465	8,0845	-26,0675
Beban 75% Gangguan Hubung Singkat 2-10				
	Jumlah Sampel	$(f_s - f_r)$ (dB)	Frekuensi fundamental (dB)	$(f_s + f_r)$ (dB)
Nilai amplitudo (dB)	Sampel 1	-14,21	6,866	-27,94
	Sampel 2	-14,06	6,973	-26,66
	Sampel 3	-14,17	7,664	-29,1
	Sampel 4	-14,16	7,433	-28,37
Rata - Rata		-14,15	7,234	-28,0175

Figure 9. Hasil Rata-Rata Pembebanan 75% Sampel 1 Sampai 4 Di Kondisi Motor Induksi Normal

Beban	Gangguan hubung singkat 1-3		Gangguan hubung singkat 2-10		Presentase
	$(f_s - f_r)$ (dB)	$(f_s + f_r)$ (dB)	$(f_s - f_r)$ (dB)	$(f_s + f_r)$ (dB)	
0%	1,005	1,3575	0,4375	0,3625	100%
25%	-0,2675	-0,17	0,0725	1,2	50%
50%	-0,1575	-0,195	0,21	0,4325	50%
75%	-0,0025	1,3475	0,3125	-0,6025	25%
100%	0,105	-0,56	-0,4425	0,63	25%
Rata-rata					50%

Figure 10. Diatas Merupakan Hasil Analisa Presentase Keberhasilan