

SIMULASI DAN DETEKSI GANGGUAN BELITAN STATOR MOTOR INDUKSI TIGA FASA MENGGUNAKAN ARUS *STARTING* DENGAN MATLAB/SIMULINK

Jusni Sufrianti*, Amir Hamzah**

*Teknik Elektro Universitas Riau **Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau

Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293

Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau

Email: jusnisenlah@gmail.com

ABSTRACT

Induction motors are electric motors are the most widely used in industry, therefore the performance, stability and efficiency of an induction motor is of considerable concern to anticipate disturbances that could lead to a decrease in the age of the induction motor. Motor Current Signature Analysis (MCSA) is one of the most common method used to detect the motor's performance on-line, but the use of this MCSA not give less good results when the load torque is not constant. Modeling the induction motor in a state of no interference derived from mathematical equations with the method of the reference frame stator (stationary reference frame). In this paper, interference with the stator winding is detected by a change in resistance and inductance then and the emergence of sideband frequencies / other at the starting stator current spectrum, then do the phase characteristic approach to diagnosis techniques Fast Fourier Transform (FFT). Analytical results from the use of such techniques show an increase the amount of energy in each frequency band and a large range THD each interruption, so that the motor condition can be known whether normal or damage occurs.

Keywords - induction motor, the stator windings, short circuit, Fast Fourier Transform, software matlab

1. PENDAHULUAN

Motor induksi merupakan motor yang paling banyak digunakan dalam berbagai aplikasi mulai dari aplikasi di industri-industri besar, seperti di industri manufaktur, pertambangan, transportasi, sampai aplikasi di lingkungan rumah tangga. Hal ini disebabkan karena motor induksi memiliki berbagai keunggulan dibanding dengan motor listrik jenis yang lain, yaitu diantaranya karena andal, harganya yang relatif murah, konstruksinya yang sederhana dan kuat serta karakteristik kerja yang baik.

Konsumsi industri dalam pemakaian \ smotor induksi mencapai 40-50% (Veggi, 2013). Pada umumnya motor induksi kuat dan handal. Tetapi, lingkungan

kerja, instalasi dan faktor produksi bisa menyebabkan kerusakan *internal* seperti kerusakan pada stator dan rotor. Kerusakan isolasi belitan dan *bearing* adalah jenis kerusakan yang paling umum (Chow, 1997). Kerusakan tersebut tidak hanya menurunkan efisiensi kerja dari motor, melainkan bisa menimbulkan potensi bahaya untuk produksi yang berkelanjutan dan keamanan. Penelitian tentang gangguan pada motor induksi yang telah dilakukan menunjukkan mekanisme kegagalan pada motor induksi yang paling umum dapat dikategorikan berdasarkan komponen utama motor seperti gangguan pada stator (38%), gangguan pada rotor (8%), gangguan pada *bearing* (30%) dan gangguan lain (Thorsen, 1999).

Deteksi dini sangat penting dilakukan untuk mencegah kerusakan pada motor. Salah satu yang dapat digunakan untuk deteksi dini adalah analisa arus *starting*. Arus *starting* dapat mencegah kerusakan lebih awal pada stator motor induksi sehingga tidak terjadi kerusakan lebih parah pada motor. Hal ini dilakukan agar motor dapat terus bekerja dengan kondisi baik dan dapat memperpanjang usia motor itu sendiri, serta dapat mengurangi biaya perbaikan motor.

Pada penelitian ini deteksi gangguan pada belitan stator motor induksi tiga fasa yang dapat diketahui dengan analisa sinyal arus *starting* yang akan dianalisa dengan metode *fast fourier transform* dan metode kerangka referensi untuk analisa motor induksi yang akan disimulasikan pada matlab/*simulink*.

2. LANDASAN TEORI

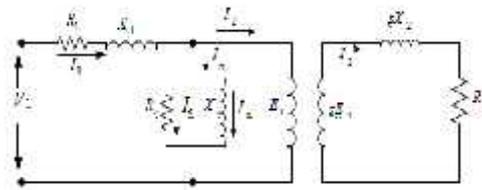
2.1 Sistem Penggerak Energi Listrik

Motor induksi sangat banyak digunakan di dalam kehidupan sehari-hari baik di industri maupun di rumah tangga. Motor induksi yang umum dipakai adalah motor induksi 3-fase dan motor induksi 1-fase. Motor induksi 3-fase dioperasikan pada sistem tenaga 3-fase dan banyak digunakan di dalam berbagai bidang industri dengan kapasitas yang besar. Motor induksi merupakan motor listrik arus bolak balik (ac) yang paling luas digunakan. Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa motor ini bekerja berdasarkan induksi medan magnet stator ke rotornya, dimana arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (*rotating magneticfield*) yang dihasilkan oleh arus stator.



Gambar 2.1 Motor induksi 3-fasa

2.2 Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi Tiga Fasa



Gambar 2.2 Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi

Telah disebutkan sebelumnya bahwa motor induksi identik dengan sebuah transformator, tentu saja dengan demikian rangkaian ekuivalen motor induksi sama dengan rangkaian ekuivalen transformator.

2.3 Metode *Starting* /Pengasutan Motor Induksi Tiga Fasa

Saat motor induksi di *starting* secara langsung, arus awal motor besarnya antara 500% sd 700% dari arus nominal. Ini akan menyebabkan drop tegangan yang besar pada pasokan tegangan PLN. Untuk motor daya kecil sampai 5 KW, arus *starting* tidak berpengaruh besar terhadap drop tegangan. Pada motor dengan daya diatas 30 KW sampai dengan 100 KW akan menyebabkan drop tegangan yang besar dan menurunkan kualitas listrik dan pengaruhnya pada penerangan yang berkedip.

2.4 Kerangka Referensi Motor Induksi Tiga Fasa

2.4.1 Kerangka referensi stasioner (*stationary reference frame*), = 0

Transformasi variabel stator ke kerangka referensi sembarang dan transformasi variabel rotor ke kerangka referensi sembarang dibutuhkan untuk menyederhanakan persamaan tegangan motor induksi tiga fasa. Variabel stator dalam notasi vektor dapat direpresentasikan dengan:

$$f_{abcs} = \begin{bmatrix} f_{as} \\ f_{bs} \\ f_{cs} \end{bmatrix} \quad (1)$$

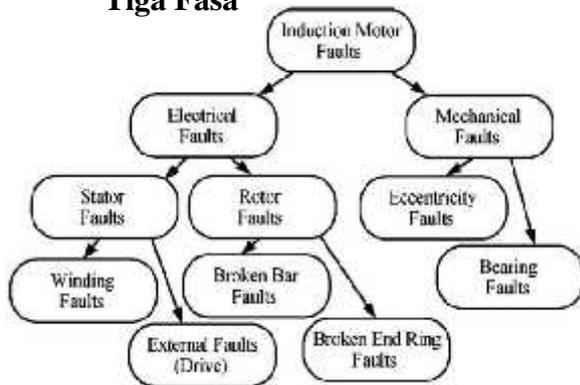
Dimana f dapat berupa tegangan (v), arus (i), atau fluks lingkup (Φ). Jika θ_r adalah posisi sudut dari kerangka referensi sembarang maka transformasi dari variabel stator ke kerangka referensi sembarang adalah:

$$f_{qdos} = K_s f_{abcs} \quad f_{abcs} = (K_s)^{-1} f_{qdos} \quad (2)$$

dimana

$$f_{qdos} = \begin{bmatrix} f_{qs} \\ f_{ds} \\ f_{os} \end{bmatrix} \quad (3)$$

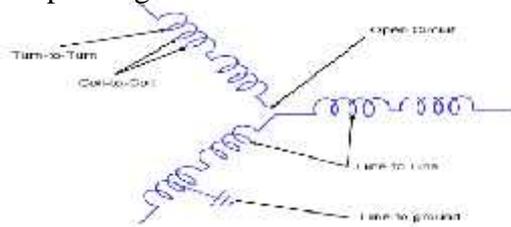
2.5 Gangguan pada Motor Induksi Tiga Fasa



Gambar 2.3. Klasifikasi gangguan motor induksi tiga fasa

2.5.1 Gangguan Stator

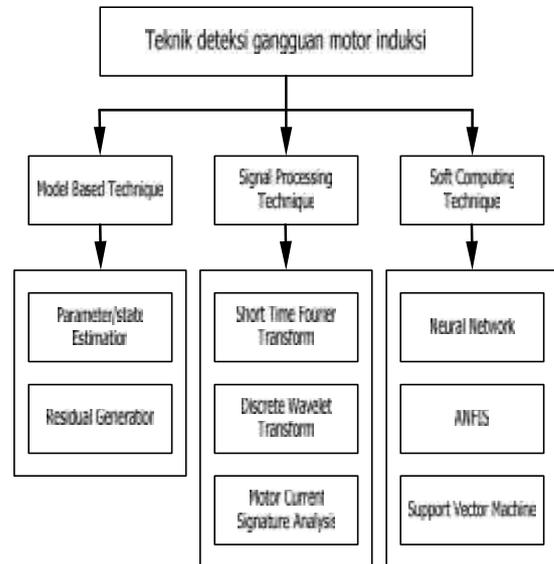
Gangguan stator dapat dua jenis, yaitu: gangguan di belitan stator dan gangguan di inti stator. Gangguan di belitan stator dapat disebabkan oleh: temperatur yang tinggi pada inti dan belitan, kontaminasi akibat minyak, kelembaban dan lain-lain, kerusakan pada ujung belitan, hubung singkat, pembebanan pengasutan, *electric discharge*, bocor pada sistem pendinginan.



Gambar 2.4 Jenis – jenis kegagalan pada stator

2.6 Metode Deteksi Gangguan Motor Induksi Tiga Fasa

Beberapa metode monitoring gangguan motor induksi dapat katagorikan seperti terlihat pada gambar 2.13.



Gambar 2.5 Teknik deteksi motor induksi

2.6.1 Identifikasi Gangguan Menggunakan Analisa Spektrum Arus

Pada motor induksi tiga fasa yang seimbang, jumlah arus stator adalah nol. Hanya dua arus yang digunakan untuk prosesing dan fasa ketiga dapat dikeluarkan dari proses. Hal ini dapat dilakukan dengan mengkonversikan arus stator menggunakan suatu metode yang disebut "reference frame". Reference frame adalah suatu fungsi untuk mengubah variabel arus tiga fasa (i_a, i_b, i_c) menjadi komponen Park's vector (i_d, i_q)

Berikut ini model simulasi dari motor induksi disaat torsi beban konstan, arus, tegangan, kecepatan mengembangkan torsi elektromagnetik bersama dengan pasokan arus utama (Namburi N. R. Et. Al, 1985) analysis yang digunakan adalah FFT yang akan didapatkan domain frekuensi yang dipilih, seperti gambar berikut :

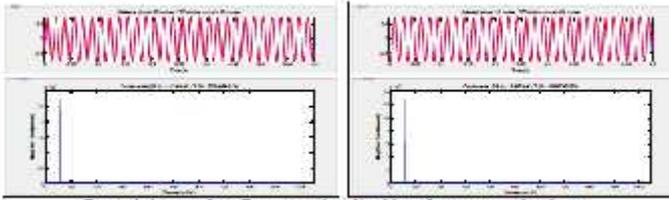


Figure 3: Magnitude vs Frequency plot of healthy induction motor for phase A
 Figure 4: Magnitude vs Frequency plot of healthy induction motor for phase B

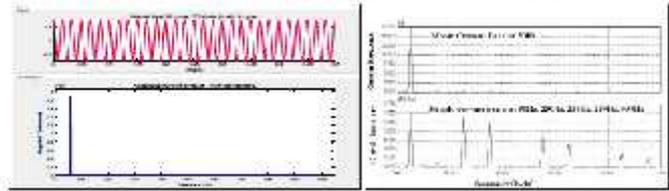


Figure 5: Magnitude vs Frequency plot of healthy induction motor for phase C
 Figure 6: FFTs of motor current and supply current of model

Gambar 2.6 Tegangan dan Frekuensi Motor Induksi Normal per fasa (3,4,5), dan grafik dari FFT dari arus motor dan arus suplai dari model.

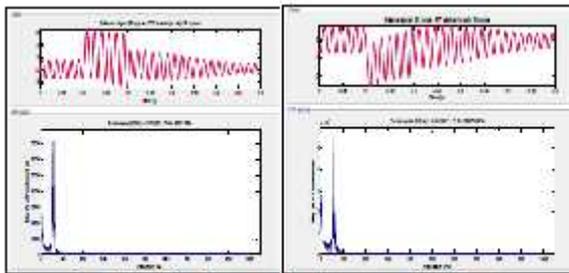


Figure 7: FFTs of the induction motor phase A phase to ground fault for phase A
 Figure 8: FFTs of the induction motor phase A phase to ground fault for phase B

Gambar 2.7 FFT dari motor induksi dalam keadaan ada gangguan hubung singkat ke ground

2.6.2 Discrete Fourier Transform (DFT)

Agar transformasi fourier dapat digunakan dalam operasi digital, maka diperlukan sampel-sampel pada kawasan frekuensi dan waktu. Sampel-sampel sinyal kontinyu pada kawasan waktu akan mempresentasikan keseluruhan sinyal kontinyu tersebut. Sampel-sampel ini akan mengubah sinyal kontinyu menjadi sinyal diskrit, maka dibutuhkan *Discrete Fourier Transform* (DFT)-transformasi fourier sinyal diskrit). DFT memiliki persamaan sebagai berikut :

$$H_n = \sum_{k=0}^{N-1} h_k e^{2\pi i k / N} \quad (4)$$

$$H_k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} H_n e^{-2\pi i k n / N}$$

2.6.3 Fast Fourier Transform (FFT)

Untuk mendapatkan sinyal diskrit secara cepat dan efisien diperlukan algoritma *Fast Fourier Transform*. Algoritma *Fast Fourier Transform* bekerja dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$H(f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) e^{2\pi i f t} dt \quad (5)$$

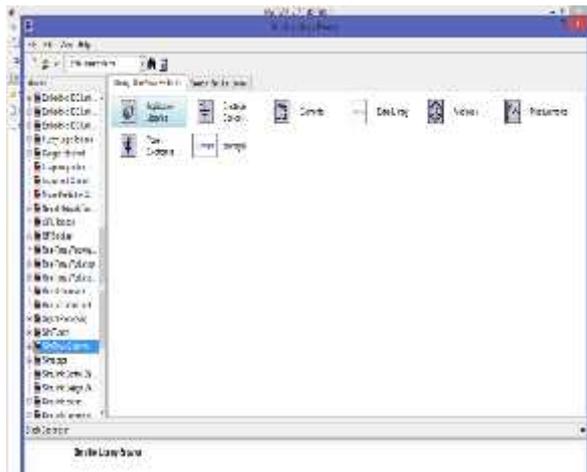
$$h(t) = \int_{-\infty}^{\infty} H(f) e^{2\pi i f t} df$$

untuk mencegah motor dari kerusakan yang lebih parah hingga tidak mampu beroperasi.

2.6.7 Simulink MATLAB

Simulink adalah sebuah kumpulan aplikasi dalam MATLAB untuk melakukan modeling, simulasi, dan untuk melakukan analisis dinamik pada suatu sistem. Dengan simulink kita dimudahkan untuk membuat sebuah simulasi secara lebih interaktif. Sehingga dengan simulink ini kita dapat lebih mudah atau dengan kata lain memperoleh sense atau taste dari suatu modelling atau simulasi.

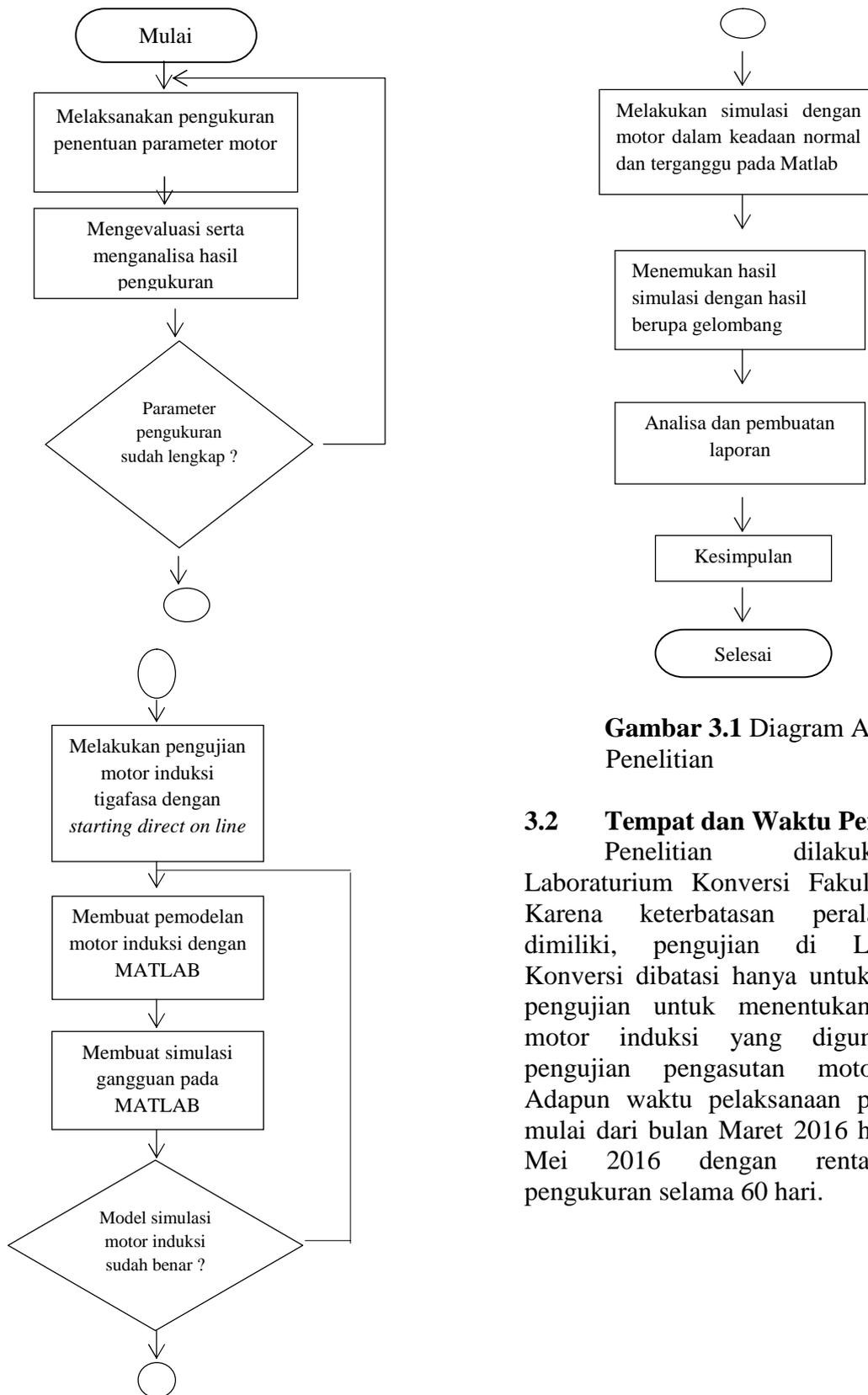
Sim Power Systems adalah salah satu blok blok simulasi khusus untuk sistem tenaga listrik yang terdapat dalam toolbox aplikasi simulink.



Gambar 2.8 sim power system

3. METODE PENELITIAN

3.1 Flowchart Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Konversi Fakultas Teknik. Karena keterbatasan peralatan yang dimiliki, pengujian di Laboratorium Konversi dibatasi hanya untuk melakukan pengujian untuk menentukan parameter motor induksi yang digunakan, dan pengujian pengasutan motor induksi. Adapun waktu pelaksanaan penelitian di mulai dari bulan Maret 2016 hingga bulan Mei 2016 dengan rentang waktu pengukuran selama 60 hari.

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Membuat Model Motor Induksi Tiga Fasa

Model rangkaian ekivalen motor induksi memerlukan nilai-nilai parameter dari motor tersebut. Untuk memperoleh model motor yang akurat, yang mana merepresentasikan semua karakteristik dari motor, parameter perlu dihitung dengan teliti. Penentuan parameter yang dibuat pada penulisan ini dilakukan pada kondisi mantap. Analisis detail lanjutan dilakukan untuk menghasilkan data yang dibutuhkan dalam pemodelan.

3.3.2 Penentuan Parameter Motor Induksi Tiga Fasa Empat Kutub

Penentuan parameter rangkaian ekivalen dihitung dari data pengujian resistansi stator, pengujian hubung singkat dan beban nol. Diperoleh parameter motor induksi sebagai berikut :

Dengan parameter berikut :

1-hp, 3 fasa, 50 Hz, 4 kutub, 200 V

Sb = 750 VA

Prated = 750 W

Vrated = 200 V

Pf = 0.8

Irated = 2.70 A

Rs = 3.35 ohm

Xls = 6.94e-3*wb ohm

Xplr = xls

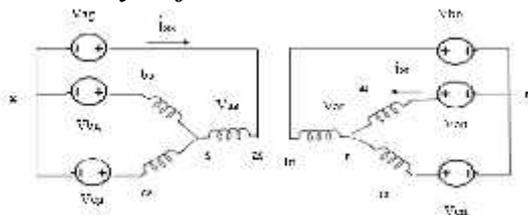
xm = 163.73e-3*wb

rpr = 1.99 ohm

J = 0.1 kg m²

3.4 Perancangan Model Simulasi

3.4.1 Simulasi dan Analisis Rangkaian Motor Induksi Tiga Fasa dalam Stationary Reference Frame



Gambar 3.2 Hubungan stator dan rotor

Secara umum, untuk koneksi ditampilkan, tiga tegangan fase stator adalah

$$\begin{aligned} v_{as} &= v_{ag} - v_{sg} \\ v_{bs} &= v_{bg} - v_{sg} \\ v_{cs} &= v_{cg} - v_{sg} \end{aligned} \quad (6)$$

$$3v_{sg} = (v_{as} + v_{bs} + v_{cs}) - (v_{ag} + v_{bg} + v_{cg}) \quad (7)$$

Dalam simulasi tegangan, V_{sg} dapat ditentukan dari aliran arus fasa di sambungan netral, yaitu

$$v_{sg} = R_{sg} (i_{as} + i_{bs} + i_{cs}) + L_{cs} \frac{d}{dt} (i_{as} + i_{bs} + i_{cs}) = 3 \left(R_{sg} + L_{cs} \frac{d}{dt} \right) \quad (8)$$

Berikutnya transformasi tegangan fase stator untuk $qd0$ tegangan stasioner dengan q -axis dari qd referensi stasioner dengan stator sumbu fase a -axis dan $\theta = 0$, kita dapat memperoleh hubungan berikut dengan menetapkan v ke nol dalam transformasi matriks ekuivalen 3.13:

$$T_{qdo}(\theta) = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos\theta & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \sin\theta & \sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$v_{qs}^s = \frac{2}{3} v_{as} - \frac{1}{3} v_{bs} - \frac{1}{3} v_{cs} = \frac{2}{3} v_{ag} - \frac{1}{3} v_{bg} - \frac{1}{3} v_{cg} - v_{sg}$$

$$v_{ds}^s = \frac{1}{\sqrt{3}} (v_{cs} - v_{bs}) = \frac{1}{\sqrt{3}} (v_{cg} - v_{bg})$$

$$v_{0s}^s = \frac{1}{3} (v_{as} + v_{bs} + v_{cs}) = \frac{1}{3} (v_{ag} + v_{bg} + v_{cg}) - v_{sg} \quad (10)$$

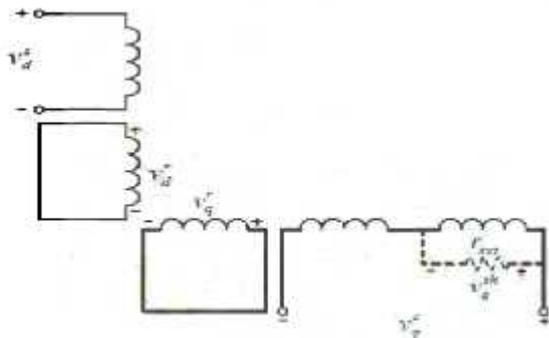
Selanjutnya, melakukan transformasi rotasi dari jumlah rotor qd atas ke $frame$ yang sama stasioner qd untuk jumlah stator, baik menggunakan ekuivalen 11 atau equivalent 12:

$$\begin{bmatrix} i_q^s \\ i_d^s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_q \\ i_d \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$\begin{bmatrix} i_q \\ i_d \\ i_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_q^s \\ i_d^s \\ i_0^s \end{bmatrix} \quad (12)$$

3.4.4 Pemodelan Kondisi Motor Induksi dalam keadaan terganggu (*Short Circuit*)

Pada penelitian ini mensimulasikan motor induksi menggunakan *Simulink* dimulai dengan memberikan sumber tegangan pada stator. Dapat dilihat bahwa s merupakan stator, r merupakan rotor, dan a, b, c merupakan presentase nama setiap fasa dari motor induksi 3 fasa, serta ω_r merupakan kecepatan putar medan magnet rotor.



Gambar 3.9 model motor yang belitannya terhubung singkat pada stator

Gambar diatas merupakan gambar model motor yang belitannya terhubung singkat pada stator. Pada gambar tersebut terlihat hubungan dari *q-axis* dan *d-axis*. Pada *q-axis* terlihat adanya hubung singkat. Hal ini menyebabkan adanya gangguan pada stator. Motor induksi menggunakan hubungan 3 fasa maka fasa nol dianggap tidak ada. Hal ini dapat dilihat pada gambar diatas yang tidak menggambarkan hubungan antara fasa 0 stator dengan rotor.

Pada gambar diatas karena adanya pengaruh tegangan *short circuit* (v_q^{sh}) di fasa *q-axis* stator maka didapatkan model matematika untuk tegangan distator fasa q dalam keadaan terhubung singkat adalah :

$$v_q^s = v_q^{sh} + p\lambda_q^s + r_q^s i_q^s \quad (13)$$

Dimana

$$v_q^{sh} = +p\lambda_q^{sh} + r_q^{sh} i_q^{sh} \quad (14)$$

Maka

$$\lambda_q^{sh} = \int (v_q^{sh} - r_q^{sh} i_q^{sh}) dt$$

$$r_{qd0}^s = \begin{bmatrix} r_{11}^s & r_{12}^s & r_{13}^s \\ r_{21}^s & r_{22}^s & r_{23}^s \\ r_{31}^s & r_{32}^s & r_{33}^s \end{bmatrix} \quad (15)$$

Jadi persamaan untuk fluks *q-axis* stator dan rotor adalah :

$$\begin{aligned} \lambda_q^s &= \int (v_q^s - v_q^{sh} - r_{11}^s i_q^s - r_{12}^s i_d^s) dt \\ \lambda_q^r &= \int (\omega_r \lambda_d^r - r_r^r i_q^r) dt \end{aligned} \quad (16)$$

Persamaan fluks *d-axis* stator dan rotor adalah :

$$\begin{aligned} \lambda_d^s &= \int (v_d^s - v_q^{sh} - r_{21}^s i_q^s - r_{22}^s i_d^s) dt \\ \lambda_d^r &= - \int (\omega_r \lambda_q^r - r_r^r i_d^r) dt \end{aligned} \quad (17)$$

Sedangkan untuk persamaan torsi adalah :

$$T_{em} = \frac{3}{2} \frac{P}{2} (\lambda_d^s i_q^s - \lambda_q^s i_d^s) \quad (18)$$

$$\frac{2j\omega_b}{P} \frac{d\omega_b}{dt} = T_{em} + T_{mech} + T_{damp}$$

Jadi

$$\frac{\omega_r}{\omega_b} = \int \left\{ (T_{em} + T_{mech} + T_{damp}) \cdot \frac{1}{2H} \right\} dt \quad (19)$$

Dimana $\omega_b = \omega_e = 2\pi f_e$, T_{em} = Torsi elektromagnetik, P adalah jumlah pole, H adalah inersia rotor konstan (detik), T_{damp} adalah torsi damping, T_{mech} adalah torsi mekanik. Untuk mendapatkan arus tiga fasa maka output dari arus i_q^s , i_d^s , dan i_0^s ditransformasikan ke bentuk tiga fasa abc sebagai berikut,

$$f_{abc} = [T_{qd0}(\theta)]^{-1} [f_{qd0}]$$

maka untuk merubah arus dua fasa ke tiga fasa adalah

$$i_{abc} = [T_{qd0}(\theta)]^{-1} [i_{qd0}] \quad (20)$$

$$T_{qd0}(\theta)^{-1} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 1 \\ \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & 1 \\ \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & 1 \end{bmatrix}$$

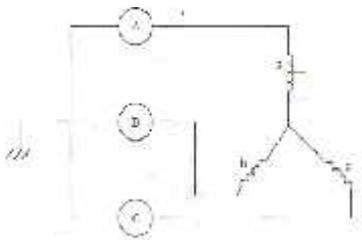
Dimana $\omega = 0$ dan $\theta = 0$ maka arus untuk fasa abc adalah :

$$\begin{bmatrix} i_a^s \\ i_b^s \\ i_c^s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & 1 \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_q^s \\ i_d^s \\ i_0^s \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} i_a^s &= i_q^s + i_0^s \\ i_b^s &= -\frac{1}{2} i_q^s - \frac{\sqrt{3}}{2} i_d^s + i_0^s = \frac{-(i_q^s + \sqrt{3} i_d^s)}{2} + i_0^s \\ i_c^s &= -\frac{1}{2} i_q^s + \frac{\sqrt{3}}{2} i_d^s + i_0^s = \frac{-(i_q^s - \sqrt{3} i_d^s)}{2} + i_0^s \end{aligned} \quad (22)$$

Blok simulasi *q-axis* dan *d-axis* merupakan rangkaian simulasi fasa *qd0*. Output pada blok simulasi, *q-axis*, *d-axis*, dan *zero sequence* merupakan input pada blok model transformasi *qd0* ke *abc*. Sedangkan input blok simulasi *q-axis* dan *d-axis* merupakan output dari blok model transformasi *abc* ke *qd0*.

Simulasi yang pertama mensimulasikan motor induksi yang dihubungkan antar belitan pada fasa A seperti pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Kondisi saat terjadi hubung singkat di fasa A

4. ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengumpulan Data

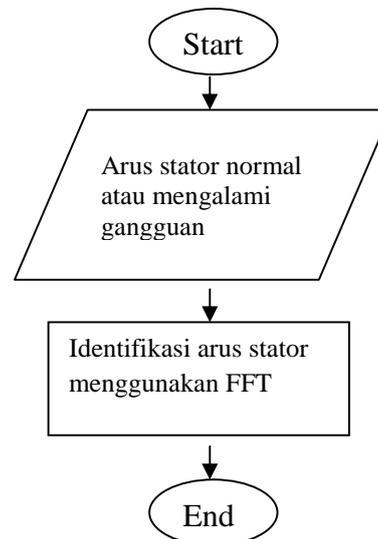
Karakteristik Data dan Parameter Motor Induksi Tiga Fasa yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 4.1 Motor Induksi Tiga Fasa
(Sumber : Lab. Konversi Energi Listrik FT UR)

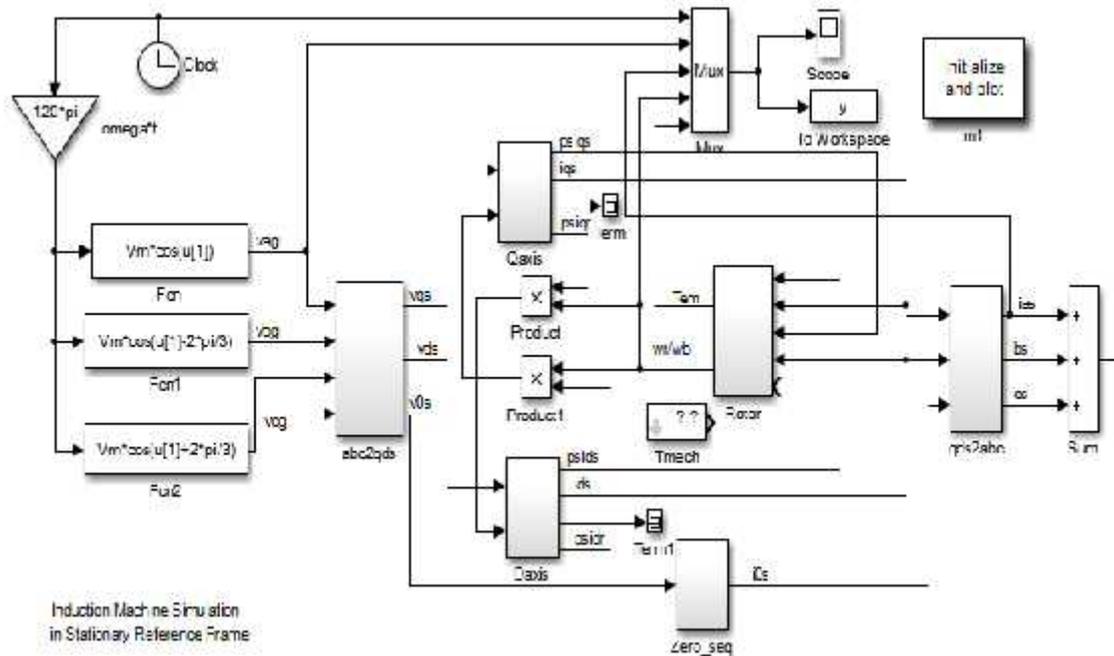
Setelah mendapatkan semua persamaan untuk parameter motor, maka persamaan tersebut akan dimasukkan ke dalam matlab/simulink. Bentuk dari diagram keseluruhan pada simulink ditunjukkan pada gambar 4.1.

Simulasi akan dijalankan pada software matlab/simulink yang nantinya akan didapatkan arus stator, kecepatan rotor, torsi output. Simulasi terdiri dari motor saat keadaan normal maupun motor saat mengalami hubung singkat. Hasil dari simulasi akan divariasikan dalam kondisi tanpa beban maupun berbeban. Selanjutnya data dari simulasi akan dianalisa dengan menggunakan metode frekuensi resolusi tinggi dengan menggunakan FFT.



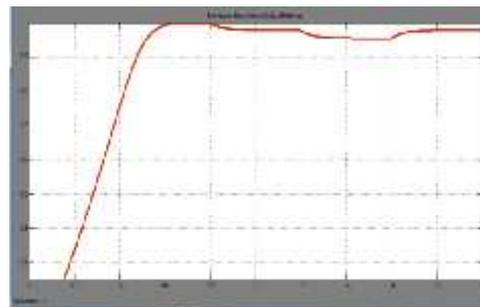
Gambar 4.2 Diagram alir pendeteksian kerusakan belitan stator (hubung singkat).

4.2 Pemodelan Motor Induksi Tiga Fasa dalam *Stationary Reference Frame* pada Matlab/Simulink

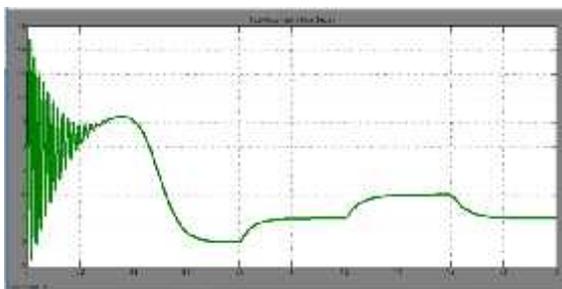


Gambar 4.3 Model motor induksi tiga fasa dalam Kerangka Referensi Stationer

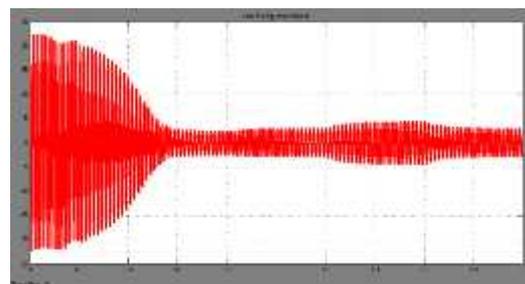
Simulink dijalankan pada software matlab/simulink yang nantinya akan didapatkan arus stator, kecepatan rotor, torsi output. Gambar 4.4 menunjukkan kurva torsi output yang dihasilkan oleh simulasi. Gambar 4.5 menunjukkan kurva kecepatan rotor. Arus stator dari simulasi hanya ditampilkan salah satu fasa saja yaitu fasa a, yang ditunjukkan oleh gambar 4.6. pada tugas akhir ini sinyal yang dianalisa pada arus stator hanya pada saat motor dalam keadaan steady state.



Gambar 4.5 Hasil simulasi sinyal kecepatan motor keadaan normal



Gambar 4.4 Hasil Simulasi sinyal torsi motor keadaan normal.



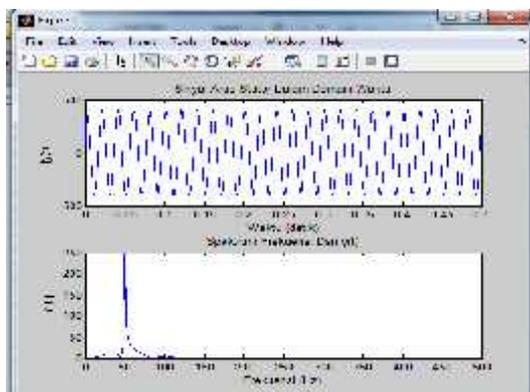
Gambar 4.6 Hasil simulasi sinyal arus stator keadaan normal

Motor induksi merupakan sebuah sistem yang sangat simetris. Ketika motor induksi beroperasi saat supply tiga fasa seimbang, perputaran medan elektromagnetik terjadi secara berkala dan simetris saat kecepatan sinkron. Saat kondisi ideal, arus, tegangan, dan fluks magnet terdistribusi simetris. Saat ada gangguan kondisi yang simetris tadi akan terganggu. Kerusakan dilihat dari arus stator yang menghadirkan frekuensi lain $2sf$ disekitar frekuensi supply. Frekuensi lain tersebut membentuk 2 frekuensi sideband, dapat dituliskan sebagai berikut :

$$f_{brb} = (1 \pm 2s)f \quad (23)$$

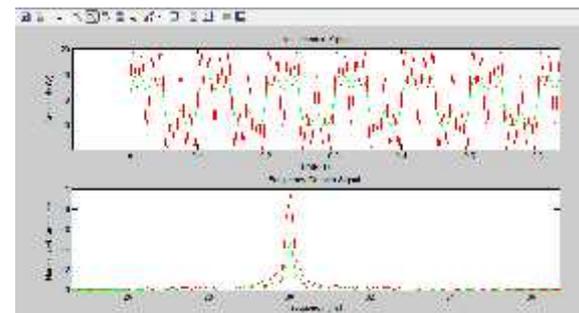
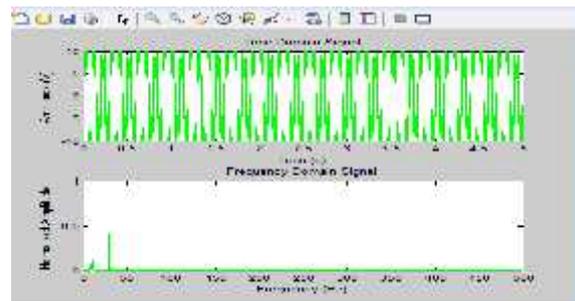
dimana s = slip dan f = frekuensi dasar/sumber.

Jika belitan salah satu fasa terhubung singkat, komponen frekuensi sideband yang tinggi akan muncul. Akibatnya arus stator akan termodulasi. Slip s pada motor bergantung pada kecepatan rotor, dengan demikian akan terjadi perpindahan frekuensi sideband saat terjadi hubung singkat.



Gambar 4.7 Spektrum FFT arus stator saat kondisi motor normal

Gambar 4.7 menunjukkan spektrum FFT saat keadaan normal, dimana frekuensi sumber motor sebesar 60 Hz, belum ada terjadi penambahan frekuensi lain disekitar frekuensi sumber.



Gambar 4.8 Spektrum FFT arus stator saat belitan salah satu fasa dalam kondisi hubung singkat

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan dari hasil yang didapatkan dari simulasi didapatkan kesimpulan serta saran-saran untuk pengembangan deteksi kerusakan belitan stator motor induksi kedepannya.

5.1 Kesimpulan

Dari simulasi dan analisis yang telah dilakukan pada Tugas Akhir ini, dapat di ambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kerusakan belitan stator (hubung singkat) dapat terlihat dengan Teknik Frekuensi Resolusi Tinggi menggunakan FFT yang ditunjukkan munculnya frekuensi *sideband* di sekitar frekuensi sumber.
3. Teknik Frekuensi Resolusi Tinggi menggunakan FFT berhubungan dengan banyaknya data yang di ambil untuk di proses ke bentuk sinyal sehingga frekuensi *sideband* di sekitar frekuensi sumber dapat terlihat.
4. Kegagalan pembacaan pada frekuensi *sideband* di sekitar frekuensi sumber di

karenakan ketidak tepatan kondisi belitan yang masih sedikit dan pembebanan yang masih rendah.

5.2 Saran

Saran-saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan topik Tugas Akhir ini yaitu:

1. Sistem simulasi yang di rancang dapat di aplikasikan untuk pendeteksian kerusakan belitan stator secara *on-line*.
2. Teknik pendeteksian supaya dikembangkan lagi karena dengan menggunakan FFT masih terjadi *fail* pembacaan frekuensi *sideband* di sekitar frekuensi sumber.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Jonar, Veggi., Dimas Anton Asfani, dan Teguh Yuwono. 2013. *Deteksi Kerusakan Rotor Pada Motor Induksi Menggunakan Analisis Frekuensi Resolusi Tinggi*. ITS.
- O.V. Thorsen and M. dalva, "failure identification and analysis for HV induction motors in the petrochemical industry", *IEEE trans. On Ind. Appl.*, vol. 35, no. 4, jul/aug. 1999, pp. 810-818.
- Adrianto, Fallin Afrellia., Dimas Anton Ansfani dan I.G.N Satriyadi Hernanda. 2014. *Simulasi dan Deteksi Hubung Singkat Impedansi Tinggi pada Stator Motor Induksi Menggunakan Arus Starting*. ITS. Surabaya.
- Arif, Muhammad Amirul., Dimas Anton Ansfani dan I.G.N Satriyadi Hernanda. 2014. *Simulasi dan Deteksi Hubung Singkat Impedansi Tinggi pada Stator Motor Induksi Menggunakan Arus Urutan Negatif*. ITS. Surabaya.
- Hardianto, Nanang. 2010. *Deteksi Hubung Singkat Pada Belitan Stator Motor Induksi Tiga Fasa Tanpa Beban Menggunakan Jaring Saraf Tiruan*. ITS.
- Putu, Gusti Yudiastawan, 2009. *Deteksi Kerusakan Bearing dan Eccentricity pada Motor Induksi Tiga Fasa dengan Current Signature Analysis*, Thesis Program Magister Fisika. FMIPA Depok.
- Novita, Sari Yelanda, Ardyono Priadi, Dimas Anton Asfani. 2013. *Simulasi dan Analisa Hubung Singkat pada Belitan Stator Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Wavelet Transform dan Power Spectral Density*. Jurusan Teknik Elektro. ITS
- Heru, Isnanto. 2002. *Analisis Motor Induksi 3 Fasa Dengan Metode Kerangka Referensi*. Makalah Seminar Tugas Akhir, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Anant G. Kulkarni. 2014. *Simulation Analysis of Three Phase & Line to Ground Fault of Induction Motor Using FFT*. *International Journal of Innovative Research & Development. India*