

ANALISIS SIMULASI *STARTING* MOTOR INDUKSI ROTOR SANGKAR DENGAN AUTOTRANSFORMATOR

Aprido Silalahi, Riswan Dinzi

Konsentrasi Teknik Energi Listrik, Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU)
Jl. Almamater Kampus USU Medan 20155 INDONESIA
email: aps.silalahi@gmail.com, riswan@usu.ac.id

Abstrak

Starting motor induksi dengan tegangan penuh akan menghasilkan arus start dan torsi start yang besar namun putaran rotor membutuhkan waktu yang relatif singkat untuk mencapai putaran nominal. Dalam paper ini akan dibahas pengaruh persentase nilai tap yang terdapat pada autotransformator terhadap arus start dan torsi start pada pengasutan motor induksi rotor sangkar. Persentase nilai tap pada autotransformator yang akan dianalisis adalah 45%, 55%, 70% dan 85%. Dari hasil analisis yang telah dilakukan, terlihat bahwa semakin kecil persentase nilai tap pada autotransformator maka nilai arus start dan torsi start pada motor induksi semakin rendah. Namun ada batas nilai tap yang digunakan untuk mengasut motor induksi rotor sangkar dimana dengan menggunakan tap 45% pada $T_m = 100$ N.m, motor tidak dapat diasut, hal ini terjadi karena torsi start yang dihasilkan tidak dapat memikul torsi beban.

Kata Kunci: analisis, *starting* dengan autotransformator

1. Pendahuluan

Motor induksi dapat *distarting* langsung dengan menghubungkan langsung dengan sumber tegangan. Namun kadang-kadang hal ini tidak dilakukan dengan pertimbangan yang lebih baik. Sebagai contoh, arus start yang dihasilkan dapat menyebabkan suatu “dip” pada sistem tenaga karena arus *starting* yang besar[1]. Ada beberapa metode *starting* motor induksi tiga fasa seperti *starting* langsung, *starting* dengan tahanan rotor, *starting* wye-delta, *starting* dengan tahanan stator dan *starting* dengan autotransformator[2].

Secara umum motor induksi dapat distart secara langsung ke rangkaian ataupun dengan mengenakan tegangan yang telah dikurangi ke motor selama periode *starting*. Tegangan yang dikurangi yang diberikan pada motor selama periode start akan mengurangi arus start dan pada saat yang sama juga mengurangi waktu percepatan karena torsi start berkurang.

Paper ini bertujuan untuk menganalisis simulasi *starting* motor induksi rotor sangkar dengan autotransformator pada program simulasi dalam bentuk grafik seperti arus dan torsi.

Manfaat dari penulisan paper ini adalah memberikan informasi tentang penggunaan

autotransformator pada *starting* motor induksi tiga fasa rotor sangkar dengan batasan masalah yaitu membahas karakteristik arus start dan torsi start dimana parameter input untuk setiap parameter ditentukan oleh pengguna namun tidak membahas sistem proteksi.

2. Motor Induksi, Autotransformator dan Simulasi

Motor induksi merupakan jenis motor yang paling banyak digunakan pada perindustrian maupun pedesaan. Harganya yang relatif murah, konstruksi yang kuat, sederhana dan mudah pemeliharaannya serta mempunyai efisiensi yang tinggi. Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa motor ini bekerja berdasarkan induksi medan magnet stator ke statornya, dimana arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antar putaran rotor dengan medan putar (*rotating magnetic field*) yang dihasilkan oleh arus stator.

Jika dibandingkan dengan motor DC, motor induksi masih memiliki kelemahan dalam pengaturan kecepatan. Pada motor induksi pengaturan kecepatan sulit untuk dilakukan

karena untuk mengatur kecepatannya, efisiensi dari motor induksi tersebut akan berubah juga, sedangkan pada motor DC hal ini tidak dijumpai. Secara umum konstruksi motor induksi tiga fasa terdiri dari stator dan rotor. Stator merupakan bagian mesin yang tidak berputar dan terletak di bagian luar, sedangkan rotor merupakan bagian dari mesin yang berputar dan terletak di bagian dalam.

Motor induksi tidak dapat berputar pada kecepatan sinkron. Seandainya itu terjadi maka rotor tidak akan berputar (diam) relatif terhadap fluksi yang berputar. Maka tidak akan ada ggl yang diinduksikan dalam rotor, tidak ada arus yang mengalir pada rotor sehingga tidak akan menghasilkan kopel[3]. Apabila rotor dari motor induksi berputar dengan kecepatan n_r dan kecepatan medan putar stator adalah n_s , maka slip (s) dapat ditentukan pada persamaan (1).

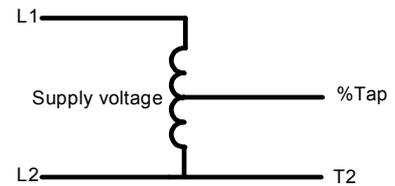
$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\% \quad (1)$$

Motor induksi tiga fasa rotor sangkar pada simulasi ini diasumsikan memiliki spesifikasi parameter sebagai berikut:

Tegangan nominal	: 400 V
Arus nominal	: 140 A
Daya keluaran	: 100 Hp
Frekuensi	: 50 Hz
Kecepatan putaran	: 1484 rpm
Jumlah kutub	: 4
Cos ϕ	: 0.87
Code letter	: M
Efisiensi	: 0.91
Desain kelas	: B

Untuk *code letter* M dari standar NEMA adalah 10,00 – 11,19.

Autotransformator adalah salah satu jenis dari transformator yang memiliki satu belitan dan dapat diatur tegangan outputnya. Pada transformator yang memiliki satu belitan didapat belitan primer dan sekunder tidak dilakukan isolasi elektrik seperti pada transformator biasa dengan dua belitan. Namun, secara teori dan operasi memiliki kesamaan. Seperti pada Gambar 1, sebuah autotransformator yang terdiri dari belitan tunggal dimana L1 dan L2 membentuk belitan primer dan bagian % tap dan T2 membentuk belitan sekunder.



Gambar 1 Belitan autotransformator[2]

Starting dengan autotransformator mempunyai dua atau tiga autotransformator untuk mengurangi tegangan start. Jika digunakan dua autotransformator, maka akan dilakukan hubungan open delta, sedangkan jika digunakan tiga autotransformator akan dilakukan hubungan bintang (wye). *Starting* dengan metode ini dapat dijalankan dengan cara *open-atau-cloce-transition*[4].

Arus start pada *starting* motor induksi tanpa autotransformator dapat ditentukan dengan persamaan (2).

$$I_L = I_{sc} = \frac{S_{start}}{\sqrt{3}V_T} \quad (2)$$

Dimana:

$$S_{start} = (\text{daya kuda nominal})(\text{factor code letter})$$

Dan untuk menentukan torsi start tanpa autotransformator dapat dinyatakan dengan persamaan (3).

$$T_s = \frac{3R_r' V_s^2}{\omega_s \left\langle (R_s + R_r')^2 + (X_s + X_r')^2 \right\rangle} \quad (3)$$

Dimana:

$$T_s = \text{Torsi start}$$

$$V_s = \text{Tegangan per fasa}$$

$$R_r' = \text{Tahanan Rotor}$$

$$R_s = \text{Tahanan Stator}$$

$$\omega_s = \text{Kecepatan angular stator}$$

$$X_s = \text{Reaktansi Stator}$$

$$X_r' = \text{Reaktansi Rotor}$$

Hubungan antara arus dan torsi pada *starting* motor induksi dengan autotransformator, apabila motor induksi mendapat tegangan langsung sebesar V dari sistem maka tegangan yang melalui motor per fasa adalah $\frac{V}{\sqrt{3}}$ dan arus startnya $I_{st} = I_{sc}$ [5].

Pada metode *starting* motor induksi dengan autotransformator, jika rasio dari tap pada autotransformator sebesar K, maka tegangan per

fasa yang melalui motor adalah $KV/\sqrt{3}$ dan ditunjukkan pada persamaan (4).

$$I_{st} = I_{sc} = K \cdot I_{sc} \quad (4)$$

dimana :

K = tapping transformator

I_{sc} = arus start langsung

Torsi start dengan autotransformator, torsi beban penuh dan daya masuk dapat dinyatakan dengan persamaan (5), (6) dan (7).

$$\frac{T_{st}}{T_{fl}} = K^2 \left(\frac{I_{sc}}{I_{fl}} \right)^2 \times S_{fl} \quad (5)$$

$$T_{fl} = \frac{P_{in}}{2\pi N / 60} \quad (6)$$

$$P_{in} = \sqrt{3} x VI \cdot \cos \varphi \quad (7)$$

Dimana:

T_{st} = Torsi start

T_{fl} = Torsi beban penuh

P_{in} = Daya masuk

V = Tegangan nominal

I_{fl} = Arus nominal

S_{fl} = Slip beban penuh

N = Putaran nominal

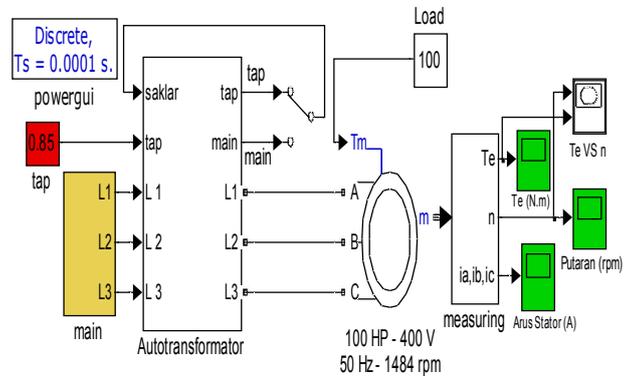
Dalam sebuah sistem perancangan khususnya analisis sistem kerja motor induksi, sangat tidak layak jika dilakukan secara langsung terhadap model yang nyata karena rawan kecelakaan dalam percobaan baik bagi alat yang digunakan maupun motor induksi itu sendiri. Oleh karena itu diperlukan adanya simulasi dalam perancangan tersebut. Simulasi akan lebih mempermudah kita dalam pengamatan dan juga lebih efisien dalam perancangan alat tersebut.

Dalam penulisan paper ini akan digunakan program simulasi untuk menampilkan grafik arus start dan torsi start pada *starting* motor induksi rotor sangkar dengan autotransformator. Penggunaan parameter lain hanyalah sebagai pembandingan dan tidak akan dibahas secara mendalam.

Rangkaian motor induksi merupakan sebuah rencana bagaimana mesin tersebut akan bekerja sesuai standar. Pada Gambar 2, jika tegangan disuplai ke motor induksi dari L1, L2 dan L3 maka *Voltage Controller* yang berada di autotransformator akan secara otomatis

menyesuaikan tegangan tersebut ke motor induksi. *Voltage Controller* pada rangkaian ini merupakan rangkaian pengasut motor induksi yang bekerja pada *starting* hingga *running* untuk menyesuaikan tegangan yang dibutuhkan motor secara otomatis.

Adapun rangkaian simulasi *starting* motor induksi rotor sangkar dengan autotransformator dapat dilihat pada Gambar 2.



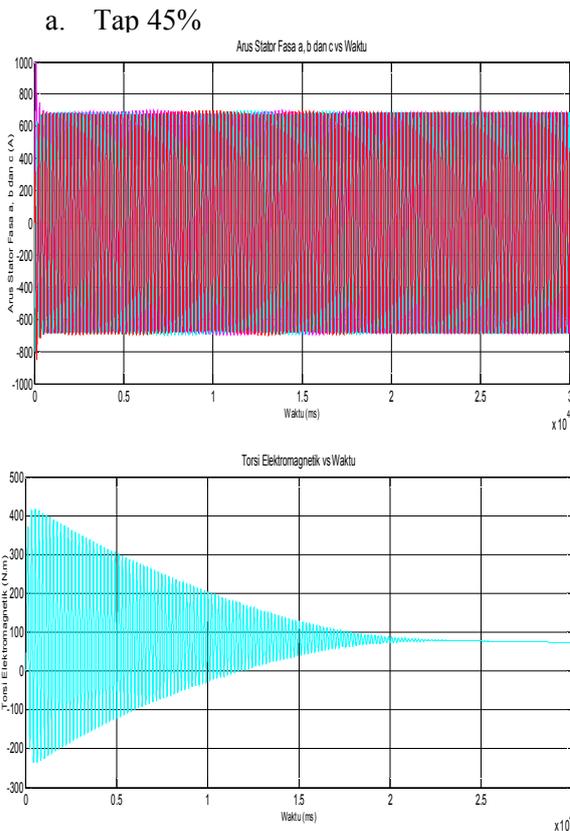
Gambar 2. Rangkaian simulasi *starting* motor induksi rotor sangkar dengan autotransformator

Urutan kerja rangkaian diatas adalah:

1. Masukan dari rangkaian diatas adalah berupa blok parameter konstan sebagai nilai tetap yaitu tegangan input dan kecepatan sudutnya.
2. Ketiga masukan tersebut akan ditransfer ke autotransformator sebagai masukan inputnya.
3. Tegangan masukan pada autotransformator tersebut akan di kontrol oleh *voltage controller* sesuai nilai tap yang dipilih pada autotransformator.
4. Kemudian tegangan masukan ditransfer ke motor induksi, dan motor mulai bekerja.
5. Dari kinerja motor induksi tersebut dapat dilakukan pengukuran dari arus, torsi dan kecepatannya.
6. Dalam pengamatan grafik simulasi dapat dilihat dengan melakukan double klik pada scope.

3. Hasil Simulasi

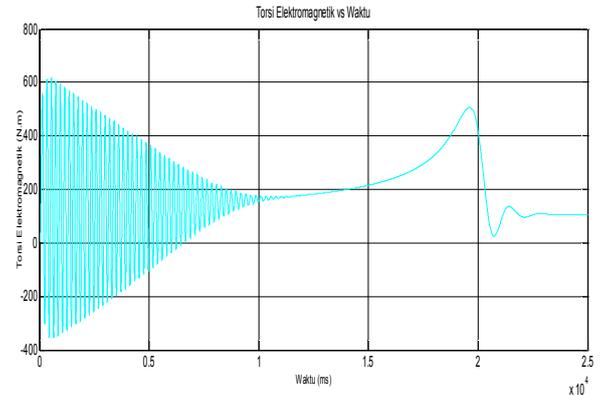
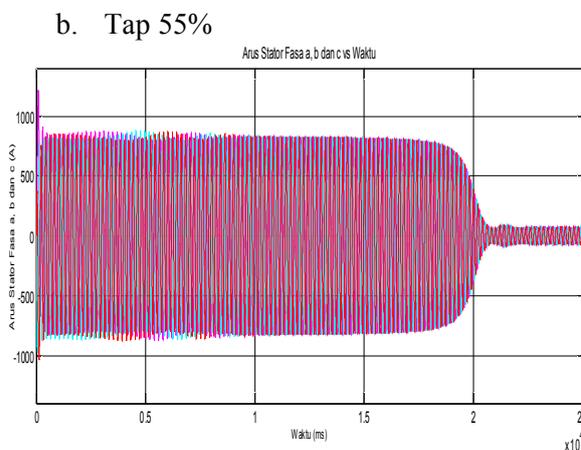
Simulasi *starting* motor induksi rotor sangkar dengan autotransformator dengan berbagai persentase nilai tap dapat dilihat pada grafik pada Gambar 3, 4, 5 dan 6.



Gambar 3. Grafik arus dan torsi start dengan autotransformator pada tap 45%

Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa:

1. Nilai arus start mencapai 660 A sedangkan nilai rata-rata torsi elektromagnetiknya yaitu 120 N.m.
2. Motor induksi tidak dapat diasut karena tegangan yang disuplai tidak cukup untuk menghasilkan torsi start untuk memikul torsi beban. Hal ini dapat dilihat pada nilai arus stator yang selalu konstan.

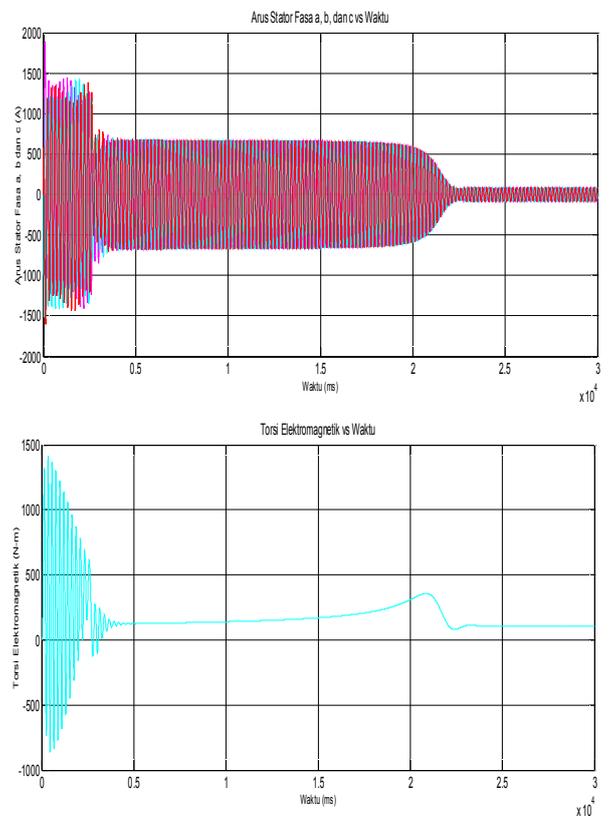


Gambar 4. Grafik arus dan torsi start dengan autotransformator pada tap 55%

Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa:

1. Nilai arus start mencapai 795 A dan nilai rata-rata torsi elektromagnetiknya yaitu 180 N.m.
2. Motor induksi dapat diasut dan membutuhkan waktu 20s untuk mencapai putaran nominalnya.

c. Tap 85% selama 2,5s kemudian disuplai dengan tap 45%

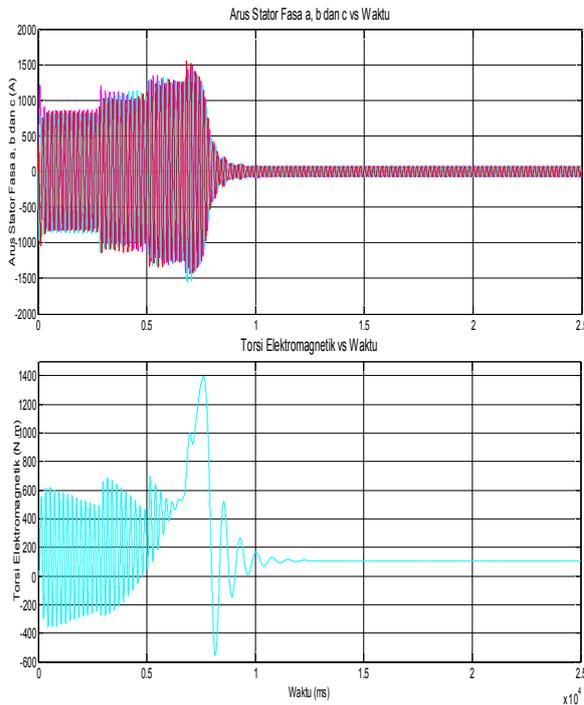


Gambar 5. Grafik arus dan torsi start dengan autotransformator pada tap 85% selama 2,5s ke tap 45%

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa:

1. Nilai arus start mencapai 1250 A dan nilai rata-rata torsi elektromagnetiknya yaitu 420 N.m.
2. Motor induksi diasut selama 2,5s pada tap 85%, sesaat setelah 2,5s tap diubah menjadi 45% dan motor induksi dapat diasut karena torsi start yang dihasilkan mampu untuk memikul torsi beban.

d. Tap 55% ke 70% ke 85% lalu ke 100%



Gambar 6. Grafik arus dan torsi start dengan autotransformator dari tap 55% ke 70% ke 85% ke 100%

Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa:

1. Nilai arus start mencapai 795 A dan nilai rata-rata torsi elektromagnetiknya yaitu 180 N.m.
2. Motor induksi diasut pada tap 55% selama 2,5s kemudian tap diubah menjadi 70% selama 2,5s kemudian persentase tap dinaikkan menjadi 85% selama 1s dan tap dinaikkan menjadi 100%. Dapat dilihat bahwa motor induksi membutuhkan waktu 7,5s untuk mencapai putaran nominalnya.

4. Hasil Perhitungan

Dari persamaan (1) dan (6) didapat bahwa nilai slip dan T_{fl} adalah 0,01 dan 543,27 N.m juga dari persamaan (7) didapat nilai P_{in} adalah

84,39 kW. Nilai arus start dan torsi start tanpa autotransformator dan dengan autotransformator untuk berbagai tap didapat dari persamaan (4), (3) dan (5) dan hasilnya pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil perhitungan nilai arus start dan torsi start pada *starting* motor induksi

Tap	Ist (A)	Ts (N.m)
Tanpa Tap	1443,38	448,70
85%	1226,87	417,21
70%	1011,37	282,96
55%	793,86	174,68
45%	649,52	116,94

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bahwa semakin kecil nilai persentase tap pada autotransformator maka nilai arus start dan torsi start semakin kecil juga dan waktu yang dibutuhkan motor induksi untuk mencapai putaran nominalnya semakin lama.

5. Kesimpulan

Dari hasil simulasi yang dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Jika tegangan sumber penuh maka dihasilkan arus start yang besar, torsinya normal dan proses *starting* normal. Jika tegangan sumber direduksi maka arus start turun, torsinya juga turun signifikan dan proses *starting* lama, kemudian jika tegangan sumber direduksi terlalu rendah maka arus start rendah, torsi tidak mampu mengasut motor dan proses *starting* terlalu lama.
2. Pada kondisi tap 45% dengan $T_m=100\text{N.m}$, motor induksi tidak dapat diasut. Hal ini disebabkan karena torsi start yang dihasilkan tidak mampu untuk memikul torsi beban. Akan tetapi dengan melakukan *kick start* pada motor induksi yaitu mula-mula motor induksi disuplai tegangan sebesar 85% dari tegangan penuhnya selama 2,5s kemudian disuplai dengan tegangan 45% dari tegangan penuhnya, maka selang waktu 20s kemudian motor dapat beroperasi mencapai putaran nominalnya. Maka dalam hal ini, semakin lama motor induksi disuplai dengan tegangan 85% dari tegangan penuhnya maka

- semakin cepat motor dapat beroperasi mencapai putaran nominalnya.
3. Pada kondisi tap 55%, motor induksi membutuhkan waktu lebih dari 20s untuk mencapai putaran nominalnya, namun jika persentase nilai tap dinaikkan bertahap dari tap 55% ke 70% ke 85% lalu ke 100%, didapat motor induksi membutuhkan waktu sekitar 10s untuk mencapai putaran nominal, hal ini terjadi karena besar tegangan yang bervariasi yang disuplai ke motor induksi mempengaruhi besar arus dan torsi.
 4. Perbandingan (rasio) nilai hasil simulasi tidak jauh berbeda terhadap analisis berdasarkan rumus-rumus yang ada.

6. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Gorisdin Silalahi dan Lentaria br Purba selaku orang tua penulis yang sudah membiayai penulis, Ir. Riswan Dinzi, MT selaku dosen pembimbing, juga Ir. Panusur SM.L Tobing, Ir. Zulkarnaen Pane dan Ir. Eddy Warman selaku dosen penguji penulis yang sudah membantu penulis dalam menyelesaikan paper ini, serta teman-teman penulis yang sudah memberikan dukungan selama pembuatan paper ini.

7. Daftar Pustaka

- [1]. Chapman, Stephen J. 2005. *Electric Machinery Fundamental, Fourth Edition*. McGraw-Hill: New-York.
- [2]. Mehta, V.K, Rohit Mehta. 2002. *Principles of Electrical Machines, First Edition*. Ram Nagar: New Delhi.
- [3]. Theraja, B.L. 1989. *A Text-Book of Electrical Technology*. Publication Division of Nurja Construction & Development: New Delhi.
- [4]. Moberg, Gerald A. 1987. *AC and DC Motor Control*. Nepean: Canada.
- [5]. Rashid, Muhammad H. 2004. *Power Electronics Circuits, Devices, And Applications. Third Edition*. Pearson Education, Inc. New Jersey.