

Pengaruh Ketidakseimbangan Tegangan Terhadap Unjuk Kerja Motor Induksi 5,5 kW

Ali Mashar

Jurusan Teknik Konversi Energi – Politeknik Negeri Bandung

Jl. Gegerkalong Hilir, Ds. Ciwaruga, Bandung

INDONESIA

E-mail: amashar69@yahoo.com

Abstrak

Ketidakseimbangan tegangan sangat mempengaruhi unjuk kerja motor induksi fasa tiga. Ketidakseimbangan tegangan pada motor induksi memiliki standar maksimum 10% untuk motor-motor yang berkapasitas besar (di atas 10 Hp). Walaupun dalam standar diperkenankan, namun ketidak-seimbangan tegangan 10% diyakini mempunyai dampak pada unjuk kerja motor. Paper ini dimaksudkan untuk mengevaluasi secara komprehen-sif pengaruh ketidakseimbangan tegangan terhadap unjuk kerja dari suatu motor yang berkapasitas kecil, yaitu motor induksi fasa tiga (merk De Lorenzo): 5,5 kW (7,4 Hp), 380 V, 50 Hz. Dalam paper ini akan dikaji pengaruh ketidakseimbangan tegangan ini terhadap faktor daya, putaran, efisiensi, suhu kerja dan umur mesin. Hasil dari kajian bahwa ketidakseimbangan tegangan yang diterapkan pada motor tersebut tidak selalu berdampak buruk. Namun ketidakseimbangan tegangan 10% meningkatkan suhu kerja belitan lebih dari 10°C yang bisa berdampak pada menurunnya umur menjadi 50% dari umur desainnya.

Kata kunci: motor induksi, umur, unjuk kerja, ketidakseimbangan tegangan

1. Pendahuluan

Ada dua variabel eksternal yang sangat mempengaruhi performa motor induksi, yaitu tegangan dan frekuensi sumber. Kedua variabel tersebut ditentukan dan dijaga oleh pembangkit tenaga listriknya. Bila menggunakan jaringan PLN (tak terbatas), maka frekuensi akan terjaga dengan baik, namun bila menggunakan pembangkit sendiri (sistem terisolasi), kekonstanan frekuensinya biasanya jauh lebih rentan. Sedangkan untuk tegangan, sangat dipengaruhi oleh sifat dan keseimbangan pembebanannya. Pengaruh tegangan pada unjuk kerja motor dijelaskan pada bagian berikut.

1.1 Tegangan Abnormal

Motor induksi fasa tiga akan siap operasi nominal apabila telah mendapatkan tegangan masukan nominal sesuai papan penunjuk motor (*name plate*). Sebagai contoh, untuk motor 380 V, motor tersebut akan siap dioperasikan sampai beban penuh bila telah mendapat tegangan catu 380 V dengan daya memadai.

Tegangan motor dikatakan tidak normal apabila [NEMA MG1-1998, 12.45]:

- Tegangan mengalami fluktuasi melebihi $\pm 10\%$ dari tegangan nominalnya;
- Ketidakseimbangan tegangan lebih besar dari 10%

Dalam hal ini bisa dikatakan bahwa fluktuasi tegangan sebesar $\pm 10\%$ dari tegangan nominalnya dan ketidakseimbangan tegangan sebesar 10% adalah kondisi yang masih dianggap normal.

1.2 Pengaruh Fluktuasi Tegangan

Pengaruh fluktuasi tegangan telah dikaji secara komprehensif dalam [Ali Mashar, 2009]. Dalam kajian ini dijelaskan bahwa pengaruh terbesar unjuk kerja motor dengan tegangan fluktuatif adalah efisiensi dan suhu kerja (belitan) motor.

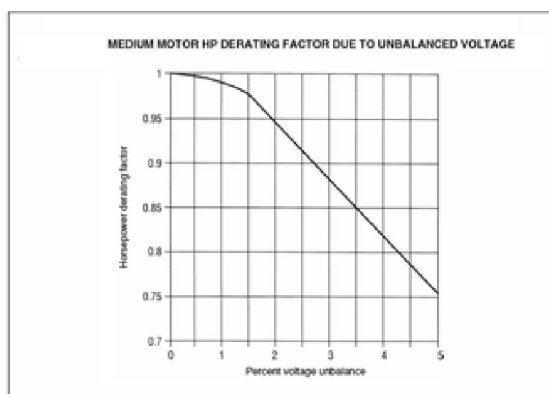
Efisiensi motor menurun dengan fluktuasi tegangan baik minus (kurang) maupun plus (lebih). Ketika tegangan minus, efisiensi menurun hampir 0,5% untuk setiap 2% penurunan. Sehingga pada tegangan minus 10%, efisiensi

motor menurun 2,5%. Sedangkan untuk tegangan plus, efisiensi juga menurun walaupun tidak sebesar pada kondisi minus, yaitu: 1,5% untuk sebesar pada kondisi minus, yaitu: 1,5% untuk kenaikan 10%.

Pengaruh fluktuasi tegangan terhadap suhu kerja motor tidak seperti pada efisiensi. Tegangan minus membuat suhu kerja motor menurun dan dengan tegangan minus 10% suhu kerja belitan motor menurun 13,5°C. Sebaliknya ketika tegangan plus (lebih) 10% suhu kerja motor mengalami kenaikan 9,4°C. Ini memberikan gambaran bahwa walaupun standar memperkenankan fluktuasi tegangan pada batas $\pm 10\%$, namun sebenarnya operasi pada kondisi-kondisi tersebut memberikan konsekuensi, yang tidak hanya pada menurunnya efisiensi tapi juga pada umur motor yang bisa jadi semakin pendek [EASA, 2000].

1.3. Ketidakseimbangan Tegangan

Ketidak-seimbangan tegangan sangat berpengaruh terhadap performa dari motor induksi. Karena demikian berpengaruhnya faktor ini, maka bila terjadi ketidak-seimbangan ini motor hendaknya tidak dioperasikan pada kondisi kerja penuhnya. Beban motor harus diturunkan sesuai dengan tingkat ketidak-seimbangan tegangan ini [NEMA MG 1-1998, 14.36]. Untuk motor kapasitas medium direkomendasikan untuk menurunkan beban motor terhadap tingkat ketidak-seimbangannya.



Gambar 1. Faktor penurunan daya akibat ketidakseimbangan tegangan

Dalam standar IEEE ditetapkan bahwa ketidak-seimbangan tegangan maksimum adalah 10%. Yang dimaksud dengan ketidakseimbangan tegangan di sini adalah ketidakseimbangan dalam magnitudanya. Ketidakseimbangan tegangan didefinisikan sebagai tegangan rata-rata dikurangi dengan tegangan terendah dibagi dengan tegangan rata-rata [EASA, hal. 6-11, 2000] atau dinyatakan

sebagai:

$$\text{Ketidakseimbangan tegangan}(\%) = \frac{V_{\text{rata-rata}} - V_{\text{min}}}{V_{\text{rata-rata}}} \times 100$$

Contoh: Sebuah motor mempunyai tegangan nominal 460 V. Jika tegangan saluran R, S, dan T adalah 460 V, 467 V, dan 450 V secara berturut-turut maka % ketidak-seimbangannya adalah:

$$\begin{aligned} \text{Ketidakseimbangan tegangan}(\%) &= \frac{459 - 450}{459} \times 100 \\ &= \frac{9}{459} \times 100 \\ &= 1,96\% \end{aligned}$$

2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan untuk dapat melakukan kajian ini adalah uji eksperimental dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- 1). Membuat kondisi ketidakseimbangan tegangan sumber sebagaimana dalam standar. Dalam hal ini digunakan tiga buah autotransformer fasa tunggal;
- 2). Beban motor harus dalam keadaan konstan. Oleh karena itu, untuk bebannya digunakan sebuah generator dc dengan Load Bank Resistor variabel;
- 3). Motor dioperasikan pada tegangan sumber dengan tingkat ketidakseimbangan secara bertahap, mulai dari kondisi seimbang sampai dengan ketidakseimbangan mencapai 10% dengan daya beban konstan.
- 4). Di samping data-data kelistrikannya, suhu kerja motor juga harus diukur. Pengukuran suhu dilakukan pada belitan jangkar (stator) dengan menggunakan alat ukur infra merah.
- 5). Berdasarkan data hasil pengukuran ini kemudian dilakukan pemrosesan data

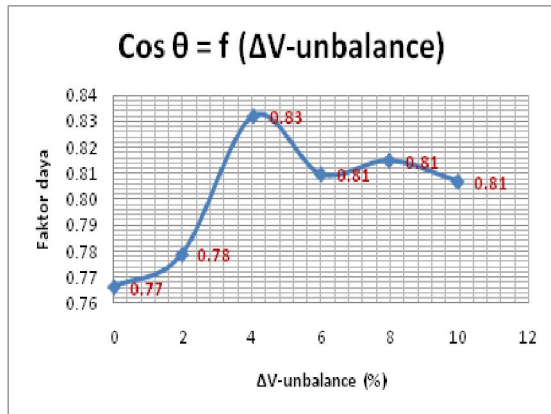
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini adalah karakteristik-karakteristik unjuk kerja motor listrik sebagai fungsi dari ketidakseimbangan tegangan masukan ($\% \Delta V$ -unbalance).

3.1. Faktor daya

Faktor daya cenderung naik dengan semakin tingginya ketidakseimbangan tegangan. Namun kenaikan faktor daya yang cukup tinggi terjadi pada rentang sampai 4% ΔV unbalance, yaitu dari 0,77 pada 0% sampai 0,83 pada 4% ΔV unbalance.

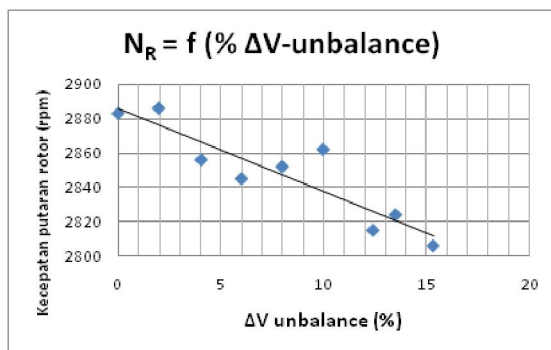
Kemudian dari 4% ke 6% menurun menjadi 0,81 dan untuk ΔV unbalance selebihnya, faktor daya relatif konstan.



Gambar 2. Faktor daya fungsi ketidakseimbangan tegangan

3.2. Putaran rotor

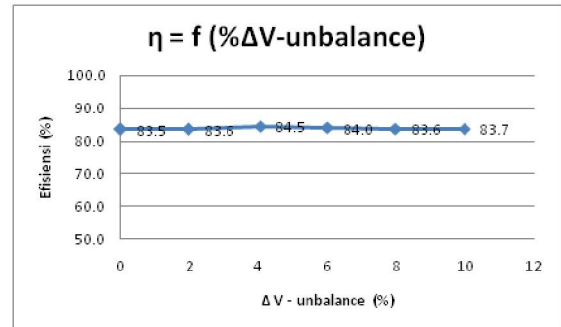
Putaran rotor turun terhadap peningkatan ketidakseimbangan tegangan masukan seperti yang ditunjukkan oleh karakteristik putaran rotor fungsi ketidakseimbangan tegangan pada Gambar 3. Tren penurunan ini adalah linier. Dengan rentang ketidakseimbangan sampai 10% putaran mengalami penurunan dari 2885 rpm menjadi 2810 rpm atau terjadi penurunan 75 rpm. Penurunan ini cukuplah signifikan karena meningkatkan slip sebesar 2,5%.



Gambar 3. Kecepatan rotor fungsi ketidakseimbangan tegangan

3.3 Efisiensi

Kurva efisiensi motor terhadap ketidakseimbangan tegangan ditunjukkan pada Gambar 4. Berdasarkan kurva ini, ketidakseimbangan tegangan sampai 10% tidak mempengaruhi efisiensi motor, yaitu sekitar 84 %.

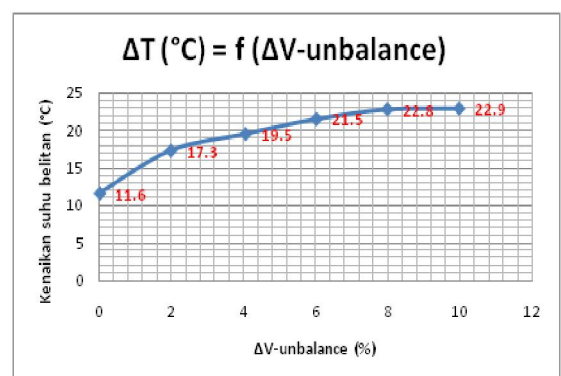


Gambar 4. Efisiensi fungsi ketidakseimbangan tegangan

3.4. Kenaikan suhu belitan

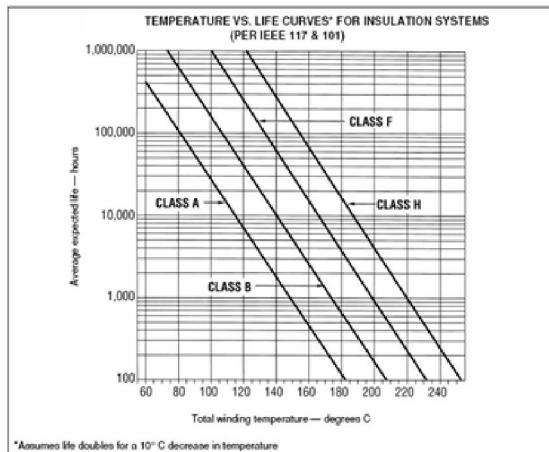
Kurva ΔT terhadap kenaikan ΔV -unbalance ditunjukkan pada Gambar 5. Kurva ini menunjukkan bahwa semakin tinggi ketidakseimbangan semakin tinggi pula suhu belitan. Untuk rentang 10% ΔV -unbalance terjadi kenaikan suhu sebesar 11,3°C (dari 11,6-22,9 °C). Ini merupakan kenaikan suhu yang sangat signifikan.

Dibandingkan dengan suhu ketika motor beroperasi pada tegangan nominal, sesuai dengan standar IEEE 117 & 101 bahwa umur isolasi motor akan menurun lebih dari separoh umur desainya (kenaikan suhu kerja 10°C di atas suhu kerja nominal akan menurunkan umur isolasi menjadi setengahnya [EASA, 2000]).



Gambar 5. Kenaikan suhu belitan fungsi ketidakseimbangan tegangan

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6. Gambar ini menunjukkan hubungan antara suhu kerja mesin dan umur sistem insulasi mesin. Ini tidak hanya berlaku pada motor induksi saja tapi meliputi semua mesin listrik.



Sumber: EASA, hal. 2-5, 2000

Gambar 6. Kurva suhu vs umur insulasi (PER IEEE 117 & 101)

Gambar 6 menunjukkan kurva suhu vs umur dari sistem isolasi klas A, B, F dan H. Klas isolasi ini menunjukkan kenaikan temperatur mesin dari suhu ruang di mana klas A: 60 °C, B: 80 °C, F: 105 °C dan H: 125 °C. Sebagai contoh untuk isolasi klas A, bila mesin bekerja dengan kenaikan suhu 60 °C dari suhu lingkungan, mesin tersebut mempunyai harapan hidup selama sampai 400.000 jam operasi. Bila mesin dioperasikan pada kenaikan suhu 50 °C (10°C di bawah 60 °C), mesin mempunyai harapan umur 2 kali lipat dari bila mesin dioperasikan pada 60°C). Sebaliknya bila mesin dioperasikan pada suhu 70°C (10°C di atas 60 °C), maka harapan umur mesin turun menjadi setengahnya dari mesin operasi pada suhu 60°C.

Ini memberikan gambaran demikian pentingnya memperhatikan suhu kerja mesin.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan di atas dapat diambil kesimpulan bahwa pengaruh dari ketidakseimbangan tegangan terhadap performa motor yang diuji adalah sebagai berikut:

- 1). Faktor daya semakin tinggi dengan meningkatnya ketidakseimbangan tegangan;
- 2). Putaran rotor menurun cukup tajam dengan semakin tingginya ketidakseimbangan tegangan. Pada ketidak seimbangan tegangan 10% menurunkan putaran 75 rpm atau setara dengan kenaikan slip 2,5%.
- 3). Efisiensi motor relatif tidak terpengaruh oleh ketidakseimbangan tegangan (84%).
- 4). Suhu belitan meningkat dengan semakin

tingginya ketidakseimbangan tegangan. Pada ketidakseimbangan 10% terjadi kenaikan suhu sebesar 11,3°C dari suhu belitan pada tegangan normalnya. Ini berarti bahwa bila motor dioperasikan pada tingkat ketidakseimbangan 10%, maka umur isolasi motor akan menurun lebih dari setengah umur insulasi desainnya.

5. SUMBER PENDANAAN

Sumber dana penelitian ini diperoleh dari dana hibah kompetisi PHK-A2 Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Mashar, Ali, 2009, Evaluasi Eksperimental Pengaruh Perubahan Tegangan Terhadap Performa Motor Induksi Fasa Tiga, 5,5 kW, RACE, Vol. 3, No. 1, p-p
2. NEMA MG 1-1998, Part 20 – Large induction motors
3. EASA AR100-1998, Recommended Practice for Repair of Rotating Electrical Apparatus
4. IEEE Guide for induction motor maintenance and failure analysis P 1415, Draft 3.0, June 1996
5. IEEE Std 1 – 2000, IEEE Recommended Practice-General Principles for Temperature Limits in the Rating of Electrical Equipment and for the Evaluation of Electrical Insulation.
6. Fischer, Rolf, 1983, Electriche Maschinen, Munchen; Wien: Hanser.
7. Mashar, Ali, 2011, Mesin Listrik II, Bandung, Polban.
8. Zein, H. 2007, Penggunaan Mesin-mesin Listrik, Bandung, Armico.