

Analisis Efisiensi Motor Induksi 3 Fasa 1 HP Kondisi *Under Voltage* Dan *Over Voltage* Dengan Simulasi PSIM

Sohih Ajie Prabowo¹, Wakhyu Dwiono², Arif Johar Taufiq³

Program Studi S1 Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Purwokerto

Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Muhammadiyah Purwokerto

Informasi Makalah	INTISARI
<p>Dikirim, 20 Agustus 2019 Direvisi, 3 Desember 2019 Diterima, 6 Januari 2019</p> <hr/> <p>Kata Kunci:</p> <p><i>Motor induksi,</i> <i>Efisiensi</i> <i>Over voltage</i> <i>Under voltage</i></p>	<p>Motor induksi 3 fasa merupakan motor yang paling umum dan banyak digunakan pada berbagai peralatan industri karena segala kelebihannya. Untuk mendapatkan performa terbaiknya, kualitas daya untuk suplai motor induksi perlu dijaga kualitasnya. Salah satu permasalahan yang muncul pada kualitas daya adalah <i>under voltage</i> ataupun <i>over voltage</i>. Pada penelitian ini dilakukan perhitungan dan analisis efisiensi menggunakan metode <i>segregated loss</i> terhadap motor induksi 3 fasa terhubung bintang dan delta pada kondisi <i>under voltage</i> dan <i>over voltage</i> dari tegangan rating, serta pada tegangan ratingnya, motor yang digunakan adalah motor induksi 3 Fasa 1 HP 4 kutub dengan tegangan rating 380 volt. Metode yang digunakan adalah metode <i>segregated loss</i>, metode ini merupakan metode untuk mendapatkan nilai efisiensi motor induksi dengan mencari dan memisahkan nilai rugi-ruginya, metode yang digunakan mengacu pada IEEE 112. Simulasi menggunakan <i>software</i> PSIM sebagai hipotesis dan pembandingan, variabel yang diambil adalah kecepatan, arus, tegangan antar fasa dan daya masukan. Berdasarkan hasil perhitungan dari seluruh percobaan menunjukkan bahwa motor induksi akan menghasilkan efisiensi yang lebih baik pada beban yang mendekati kapasitasnya, dan kondisi <i>under voltage</i> serta <i>over voltage</i> mempengaruhi nilai efisiensi dengan perbedaan yang cukup kecil pada setiap perubahan kondisi tegangan. Nilai efisiensi pada seluruh kondisi tegangan motor hubung bintang berkisar antara 44% - 52% dan pada motor hubung delta berkisar antara 39% - 42%. Simulasi yang dilakukan menggunakan <i>software</i> PSIM menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi daripada hasil pengujian dengan kisaran nilai 67% - 78%, dimana nilai tersebut dihitung dari data hasil simulasi dan dengan mengabaikan rugi inti.</p>
<p>Keyword:</p> <p>Induction motor Efficiency Undervoltage Overvoltage.</p>	<p>ABSTRACT</p> <p><i>Three phase induction is the most common motor and is widely used in various industrial equipment because of all the advantages. To get the best performance, the quality of powersupply of induction motors needs to be maintained. One of the problems that arise in power quality is under voltage or over voltage. In this study the calculation and analysis of efficiency using the segregated loss method of 3 phase induction motors connected to stars and delta on the under voltage and over voltage conditions of the rating voltage, and at the rating voltage, the motor used is a 3 Phase 1 HP 4 pole induction motor with voltage rating of 380 volts. The method used is the segregated loss method, this method is a method to get the value of</i></p>

the efficiency of the induction motor by finding and separating the value of loss and loss, the method used refers to IEEE 112. Simulation using PSIM software as a hypothesis and comparison, variables taken are speed, current, inter-phase voltage and input power. Based on the results of calculations from all experiments show that the induction motor will produce better efficiency at loads approaching its capacity, and under voltage and over voltage conditions affect the efficiency value with a small difference in each change in voltage conditions. Efficiency values in all star motor voltage conditions range between 44% - 52% and in delta connection motor ranges between 39% - 42%. Simulations carried out using PSIM software produce higher efficiency than the test results with a range of values of 67% - 78%, where the value is calculated from the simulation results and ignoring core losses

Korespondensi Penulis:

Sohih Ajie Prabowo
Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik dan Sains Universitas Muhammadiyah Purwokerto
JL. Raya Dukuhwaluh, Purwokerto, 53182
Email: Sohihprabowo@gmail.com

1. Pendahuluan

Motor induksi merupakan motor yang paling banyak digunakan dalam berbagai aplikasi mulai dari aplikasi di lingkungan rumah tangga sampai aplikasi di industri-industri besar. Hal ini disebabkan karena motor induksi memiliki keunggulan dibandingkan dengan jenis motor listrik yang lain, yaitu di antaranya karena harganya yang relatif murah, konstruksinya yang sederhana dan kuat serta karakteristik kerja yang baik serta lebih mudah dari segi perawatan. Pada dasarnya motor induksi tiga fasa membutuhkan suplai tegangan tiga fasa dalam proses kerjanya, namun ada beberapa permasalahan yang muncul dalam pengoperasian motor induksi tiga fasa, salah satunya adalah permasalahan kestabilan tegangan yang meliputi *under voltage* dan *over voltage*. Permasalah ini berpengaruh pada kinerja motor induksi, dalam proses kerjanya motor induksi tiga fasa memerlukan tegangan yang stabil pada tegangan ratingnya. Bila hal itu dibiarkan dalam waktu yang panjang maka akan dapat mengganggu kinerja motor, dapat menimbulkan gangguan mekanis dan listrik, bahkan mengurangi efisiensi kerja motor induksi.

Pengujian motor 3 fasa sudah banyak dilakukan oleh para peneliti diantaranya adalah menggunakan metode koneksi bintang pada tegangan rating dan non rating [1], motor yang digunakan adalah berkapasitas 0,5 Hp. Hasil penelitian lain [2], menyimpulkan bahwa pada saat motor dibebani dengan beban yang konstan dan terjadi penurunan tegangan, torsi yang dihasilkan motor semakin besar, dan efisiensi menjadi tidak stabil. Kesimpulan penelitian lainnya [3] menginformasikan bahwa pada kondisi awal torsi maupun daya meningkat seiring dengan kenaikan putaran poros motor listrik hingga nilai puncak kenaikan pada putaran poros mencapai 2846 rpm, namun kemudian menurun secara terus menerus sesuai peningkatan putaran dengan puncak putaran poros rotor mencapai 3000 rpm. Efisiensi motor dipengaruhi oleh resistansi rotor [4] karena perhitungan terutama pada perhitungan daya *output* tergantung pada parameter ini, selain slip.

Metode pengujian yang lain adalah dengan mengeksplorasi kinerja motor induksi 3-fase yang beroperasi pada kondisi tegangan tidak seimbang menggunakan analisis fase frame[5]. Ketidakseimbangan

tegangan mengakibatkan peningkatan persentase rugi belitan yang lebih besar pada rotor daripada di stator selain itu nilai ketidakseimbangan tegangan yang terjadi pada setiap fase menentukan efek pada *output* motor dan komponennya. Kerugian tersebut mengarah pada peningkatan suhu motor secara berlebihan, pemborosan energi dan kecenderungan kerugian yang lebih tinggi yaitu melemahkan insulasi (kegagalan isolasi).

Metode pengujian yang berbeda juga dilakukan dalam [6] yaitu dengan mempelajari implikasi biaya dan kinerja dari efek tegangan lebih seimbang, tegangan seimbang, tegangan seimbang di bawah tegangan dan ketidakseimbangan pada operasi motor induksi tiga fasa. Hasilnya menunjukkan bahwa, ada peningkatan biaya operasional karena meningkatnya kehilangan energi di gulungan sebagai akibat dari variasi tegangan dari keadaan seimbang. Pengaruh unbalance *under voltage* dan unbalance *over voltage* sesuai standar NEMA MG-1 2003 juga diamati untuk melihat pengaruhnya terhadap kinerja motor induksi tiga fasa menggunakan metode perhitungan komponen simetris [7] untuk mengetahui parameter-parameter analisis operasi motor induksi saat steady state diantaranya yaitu karakteristik arus, rugi-rugi daya, efisiensi, dan torsi motor induksi serta simulasi kecepatan putaran motor.

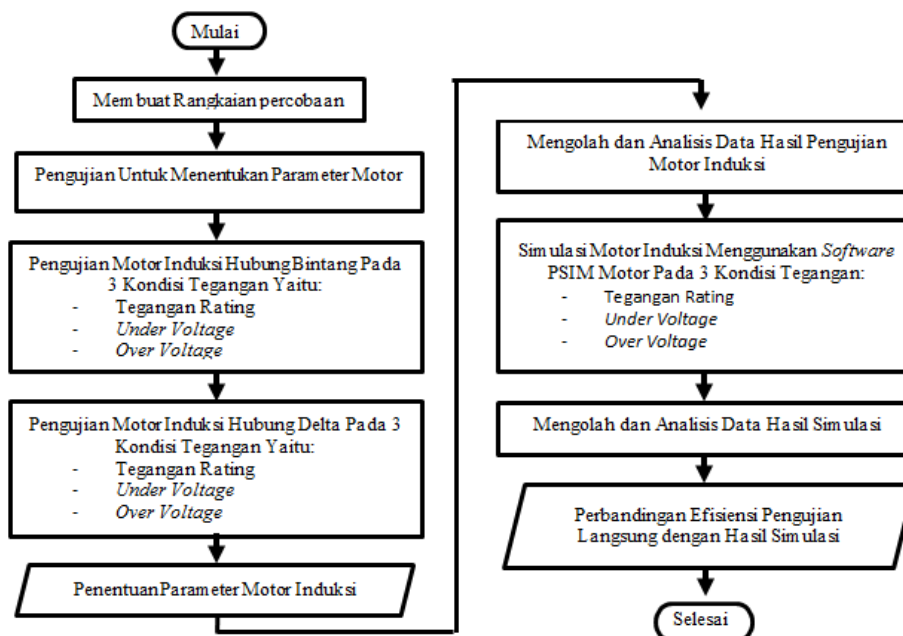
Dalam paper ini dibahas suatu evaluasi dan kajian yang lebih dalam tentang bagaimana kondisi *under voltage* dan *over voltage* mempengaruhi performa motor induksi tiga fasa pada motor terhubung delta dan terhubung bintang serta pada simulasi. Metode yang paling tepat dan mudah diaplikasikan untuk pengukuran efisiensi motor induksi adalah metode E1 dari IEEE Std-112 yang menjelaskan tentang metode *segregated loss*, karena pada metode ini pengukuran daya listrik dapat dilakukan dalam kondisi berbeban dan pengukuran tidak langsung pada rugi stray. Artinya metode ini dapat digunakan untuk mencari rugi-rugi dan efisiensi pada nilai pembebanan yang berbeda-beda serta nilai rugi *stray* dihitung berdasarkan nilai empiris (asumsi). Meskipun pada metode ini beberapa perhitungan sangat kompleks, sementara untuk nilai yang lain mengandalkan nilai empiris untuk memperkirakan rugi-rugi namun metode ini merupakan metode yang sangat akurat dengan *error* $\pm 2\%$.

Simulasi merupakan pengujian suatu kondisi secara virtual pada suatu *software*, untuk melakukan simulasi motor induksi dibutuhkan *software* yang dapat memodelkan kondisi asli pada motor induksi. *Software* yang dapat digunakan adalah PSIM, dimana pada *software* ini dapat dilakukan pemodelan motor induksi dengan memasukan parameter motor induksi serta memiliki fitur *simview* untuk melihat hasil dari simulasi.

2. METODE

2.1. Tahapan Penelitian

Proses penelitian ini diperlihatkan dalam diagram alir seperti diperlihatkan pada gambar 1.

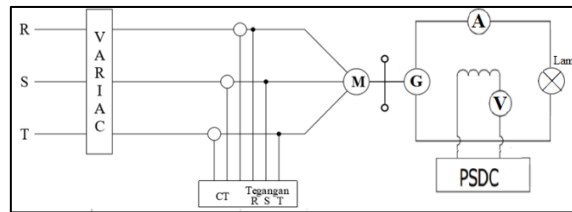


2.2. Pengujian Motor Induksi

Pengujian motor induksi terdiri dari 3 bagian penting, dimana ketiganya adalah pengujian untuk menentukan parameter motor induksi, pengujian motor terbeban motor terhubung delta dan motor terhubung bintang. Untuk menentukan parameter motor induksi dilakukan 3 pengujian yaitu pengujian motor tanpa beban, pengujian DC dan pengujian rotor ditahan.

Pengujian tanpa beban dilakukan untuk memperoleh nilai resistansi rotor, dimana pada pengujian ini arus dialirkan dan tegangan suplai dikondisikan sesuai rating motor induksi pada kondisi motor tak terbeban. Variabel yang diukur pada pengujian ini adalah daya input, tegangan, arus dan kecepatan putar rotor. Pengujian DC digunakan untuk mencari parameter motor induksi resistansi stator, dimana pada pengujian ini 2 kumparan stator yang terhubung bintang dialiri arus dc mendekati nilai suhu kumparan seperti suhu motor induksi bekerja pada kondisi normal. Pengujian motor induksi rotor ditahan dilakukan dengan mengunci rotor dengan menggunakan *pulley* yang dirancang khusus. Pada pengujian ini arus listrik dialirkan hingga mendekati ratingnya, lalu dilakukan pengukuran tegangan, daya input, arus untuk menentukan parameter resistansi inti.

Pengujian motor terbeban merupakan pengujian untuk memperoleh efisiensi motor induksi dengan variabel yang diukur adalah daya input, tegangan, arus, serta kecepatan putar rotor. Pada pengujian ini dilakukan pengujian pada 2 koneksi motor yaitu hubung bintang (Y) dan hubung delta (Δ), dimana pada masing-masing hubungan motor, diberikan beban yang sama. Pengujian ini dilakukan dengan memvariasikan nilai sumber tegangan menggunakan transformator variac pada setiap nilai beban. Beban merupakan alternator dc yang dibebani kombinasi lampu tipe h4 dengan penghubung motor dengan beban menggunakan *fanbelt*. Untuk pengujian motor terbeban rangkaian pengujian yang digunakan yaitu pada gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian pengujian motor induksi berbeban

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Motor Induksi

Objek pada penelitian ini adalah motor induksi 3 fasa dengan beban alternator (generator DC tipe Toyota K5 12 V). Spesifikasi motor induksi 3 fasa yang digunakan adalah sebagai berikut:

Merk	: Wipro	Rating Kecepatan	: 1410 rpm
Rating Frekuensi	: 50 Hz	Daya (hp)	: 1 HP
Rating Tegangan	: 380 V	Rating Arus	: 2,1 A

Berdasarkan pengujian motor induksi yang meliputi pengujian motor tanpa beban, pengujian DC dan pengujian rotor ditahan/*blocked rotor test* maka dapat dihitung nilai parameter motor induksi dengan persamaan berikut:

- $R_1 = \frac{V_{DC}}{2 \cdot I_{DC}} = \frac{35,78}{2 \times 2} = 8,95 \, \Omega$
- $I_c = I \times \cos \phi = 1,39 \times 0,5 = 0,695 \, A$
- $R_c = \frac{V_{phase}}{I_c} = \frac{219,39}{0,695} = 315,669 \, \Omega$

Untuk mencari besarnya nilai $X_1 + X_m$ dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut.

- $X_{nl} = \sqrt{\left(\frac{V_o}{I_o}\right)^2 - R_1^2} = \sqrt{\left(\frac{380}{1,56}\right)^2 - 8,95^2} = 243,425 \, \Omega$
- $X_1 + X_m = 243,425 \, \Omega$
- $R_2 = \frac{P_{BR}}{3 \cdot I_{BR}^2} - R_1 = \frac{294}{3 \times 1,87^2} - 8,95 = 19,074 \, \Omega$
- $X_1 + X_2 = \sqrt{\frac{V_{BR}^2}{I_{BR}^2} - (R_1 + R_2)^2} = \sqrt{\frac{90,9^2}{1,91^2} - (8,95 + 19,074)^2} = 38,466 \, \Omega$

Dari perhitungan $X_1 + X_2$ didapatkan nilai 38,466 Ω , nilai $X_1 = 0,4 (X_1 + X_2)$ dan $X_2 = 0,6 (X_1 + X_2)$, sehingga

- $X_1 = 0,4 \times 38,466 = 15,386 \, \Omega$
- $X_2 = 0,6 \times 38,466 = 23,081 \, \Omega$
- $X_1 + X_m = 243,425$

$$15,386 + X_m = 243,425$$

$$X_m = 243,425 - 15,386 = 228,039 \, \Omega$$

Untuk menentukan parameter induktansi digunakan persamaan berikut:

- $L_1 = \frac{15,39}{2\pi \times 50} = 0,049 \, H$
- $L_2 = \frac{23,08}{2\pi \times 50} = 0,0735 \, H$
- $L_m = \frac{228,04}{2\pi \times 50} = 0,7259 \, H$

Untuk mengetahui nilai beban dalam satuan mekanis dihitung dengan persamaan berikut:

- Beban 1 (150 Watt)
- Beban 2 (100 Watt)
- Beban 3 (150 Watt)

$$T = \frac{1000-850}{1410 \frac{2\pi}{50}} = 0,846 \text{ N.m} \quad T = \frac{1030-850}{1410 \frac{2\pi}{50}} = 1,0 \text{ N.m} \quad T = \frac{1090-850}{1410 \frac{2\pi}{50}} = 1,35 \text{ N.m}$$

Rugi-rugi merupakan satu komponen penting untuk mengetahui nilai efisiensi motor induksi efisiensi, untuk mencari rugi-rugi pada motor induksi dilakukan dengan beberapa persamaan berikut:

- Rugi arus kumparan (P_{SCL})
 $P_{SCL} = 3 \times I^2 \times R_1 = 3 \times 1,60^2 \times 8,945 = 68,697 \text{ Watt}$
- Rugi Inti (P_{CORE})
 $E_1 = V_{phase} - (I \times R_1) = 219,39 - (1,60 \times 8,95) = 205,07 \text{ Volt}$
 $P_{CORE} = \frac{3 \times E_1^2}{RC} = \frac{3 \times 205,07^2}{315,67} = 399,705 \text{ Watt}$
- Rugi arus kumparan rotor (P_{RCL})
 $P_{RCL} = (P_{IN} - P_{SCL} - P_{CORE}) \times Slip = (1030 - 68,736 - 399,705) \times 0,0213 = 11,98 \text{ Watt}$
- Rugi Stray (P_{STRAY}) + Rugi Gesek dan Angin (P_{F+W})
 $P_{SCL} + P_{CORE} + P_{RCL} = 68,69 + 399,705 + 11,98 = 480,375 \text{ Watt}$

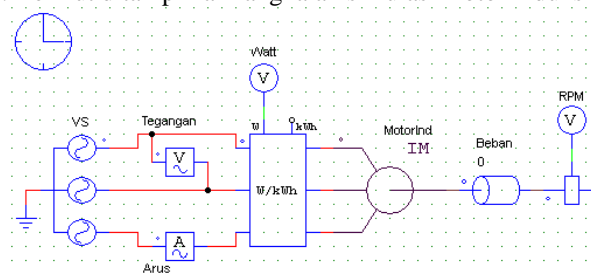
Dengan diketahui $P_{SCL} + P_{CORE} + P_{RCL}$ maka dapat dihitung Nilai Rugi Stray (P_{STRAY}) + Rugi Gesek dan Angin (P_{F+W}) dengan asumsi nilai Rugi stray adalah 1,8 % dan untuk nilai rugi gesek dan angin adalah 5%.

$$P_{STRAY+(F+W)} = \frac{6,8 \% \times 480,375}{93,2\%} = 35,049 \text{ Watt}$$

- Rugi Total
 $\Sigma \text{Rugi} = P_{SCL} + P_{CORE} + P_{RCL} + P_{STRAY+(F+W)} = 68,697 + 399,705 + 11,98 + 35,049 = 515,424 \text{ Watt}$
- Daya output (P_{out})
 $P_{out} = P_{in} - \Sigma \text{Rugi} = 1030 - 515,424 = 514,567 \text{ Watt}$
- Efisiensi (η)
 $\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} 100\% = \frac{514,567}{1030} 100\% = 49,958 \%$

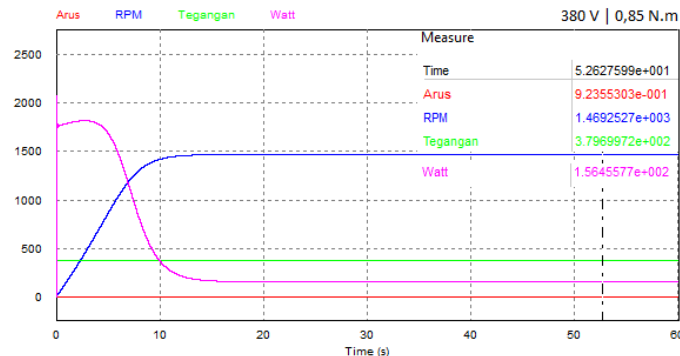
3.2. Simulasi Motor Induksi

Simulasi motor induksi menggunakan *software* PSIM versi 9.0.3.400 x32. Variabel yang ingin diperoleh ialah RPM, daya *input* serta arus akibat pengaruh kondisi tegangan *non rating* dan variasi pembebanan. Pada simulasi motor induksi dengan spesifikasi motor disamakan dengan motor induksi 3 fasa 1HP yang digunakan pada pengujian langsung. Pada simulasi ini beban dimodelkan dengan *mechanical load* yang dikopel dengan rotor. Berikut ditampilkan rangkaian simulasi motor induksi pada gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian percobaan simulasi PSIM

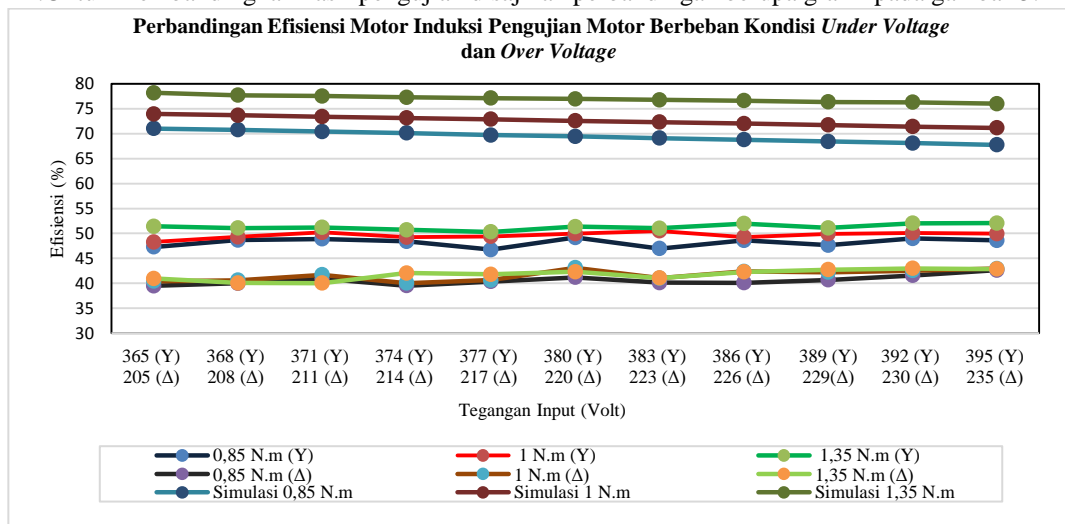
Simulasi dilakukan dengan tiga nilai beban yaitu 0,85 N.m, 1 N.m dan 1,35 N.m Pada setiap nilai beban dilakukan simulasi dengan suplai tegangan rating, *under voltage* 5 variasi tegangan dan *over voltage* 5 variasi tegangan. Hasil simulasi berupa grafik yang muncul pada fitur *simview* pada gambar 4.



Gambar 4. Perbandingan RPM dan Pin pada kondisi tegangan nominal 380 V pada beban 0,85 N.m.

3.3. Perbandingan Pengujian Langsung dan Simulasi

.Untuk membandingkan hasil pengujian disajikan perbandingan berupa grafik pada gambar 5.



Gambar 5. Grafik perbandingan motor berbeban

Setelah diamati hasil perhitungan efisiensi dari data pengujian motor secara langsung dan hasil simulasi menunjukkan hal yang berbeda. Perbedaan nilai efisiensi cukup mencolok jika dilihat berdasarkan grafik, pada simulasi parameter motor mengambil data dari hasil pengujian parameter induksi. Hasil pengujian pada simulasi menunjukkan daya input yang cukup kecil hal ini karena simulasi menghasilkan data yang linear atau dapat dikatakan ideal, selain itu ada salah satu parameter yaitu resistansi inti yang tidak ada dalam parameter motor dalam simulasi. Perhitungan hasil simulasi menghasilkan nilai yang lebih besar karena mengabaikan nilai rugi inti yang merupakan hasil dari pembagian 3 kali nilai E_1^2 dengan resistansi inti. Dari penelitian yang telah dilakukan dapat dikatakan bahwa efisiensi motor induksi dari hasil pengujian langsung tidak dapat disandingkan secara *apple to apple* dengan simulasi. Walaupun memiliki nilai efisiensi yang berbeda, ada kesamaan di antara hasil pengukuran langsung dan simulasi. Persamaan di antara keduanya yaitu kecepatan putar motor mengalami kenaikan yang linear dengan tegangan *input*, hanya saja pada hasil pengukuran langsung ada beberapa nilai kecepatan motor induksi yang nilainya tetap dan bahkan turun pada beberapa kenaikan nilai tegangan.

4. KESIMPULAN

Daya *output* yang dihasilkan motor sangat terpengaruh oleh besarnya kopel beban, nilai daya output motor induksi bertambah besar seiring membesarnya kopel beban. Selain kopel beban, daya output bertambah besar seiring bertambahnya tegangan suplai. Berdasarkan perhitungan dari pengujian secara langsung, tegangan *under voltage* dan *over voltage* mempengaruhi efisiensi motor induksi dengan prosentase yang kecil dibandingkan saat motor bekerja pada tegangan ratingnya. Dengan perlakuan yang sama pada motor terkoneksi bintang ataupun terkoneksi delta, efisiensi tertinggi adalah efisiensi yang ditunjukkan oleh motor induksi yang terhubung bintang (tegangan suplai: 380 V, Beban: 0,85 N.m). Efisiensi motor induksi 3 fasa yang dihasilkan dari motor yang digunakan sebagai objek penelitian ini relatif kecil, penyebab rendahnya efisiensi motor induksi 3 adalah rugi-rugi daya yang dihasilkan oleh motor cukup besar serta motor induksi akan menghasilkan efisiensi lebih baik saat beban mendekati kapasitasnya. Secara prosentase rugi-rugi daya pada motor hubung delta lebih besar dari motor yang terhubung bintang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sudibyo, Samuel, d.k.k., Analisis Efisiensi Motor Induksi Pada Tegangan Non Rating Dengan Metode Segregated Loss. *Universitas Bengkulu*, Teknosia Vol. II, No. 17, Tahun X, Sept 2016.
- [2] Saputra, M. Arfan dan Syamsul Amien, "Analisis Pengaruh Jatuh Tegangan Terhadap Kinerja Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Belitan (Aplikasi Pada Laboratorium Konversi Energi Listrik Ft-Usu)". *Universitas Sumatera Utara*, VOL. 8 NO. 1, Juli 2014.
- [3] Abidin, Zaenal dkk., "Pengujian Performance Motor Listrik AC 3 Fasa Menggunakan Pembebanan Generator Listrik", *Momentum*, Vol. 9, No. 1, April 2013.
- [4] Vladimir Sousa, dkk. "Procedure of Determinating Induction Motor Efficiency Working Under Distorted Grid Voltage", *IEEE Transactions on Energy Consevation*, 2014.
- [5] Adekitan, Aderibigbe dkk., "The performance of a 3-Phase Induction Machine under Unbalance Voltage Regime", *Journal of Engineering Science and Technology Review* 10. Nov 2017.
- [6] Adekitan, Aderibigbe Israel, dkk., "Cost implication of Line Voltage variation on Three Phase Induction Motor operation". *TELKOMNIKA*, Vol.16, No.4, Agustus 2018.
- [7] Parsetijo, Hari, "Analisis Pengaruh Unbalance Under Voltage Dan Unbalance Overvoltage Terhadap Kinera Motor Induksi Tiga Fasa", *Techno*, Volume 14, No. 2, Hal. 01 – 13, Oktober 2013.