

## Evaluasi Rugi-Rugi Daya Dan Efisiensi Motor Induksi Tiga Fasa Pada Rotary Machine di PT Asia Forestama Raya

Miftakhul Ma'arif<sup>1</sup>, Elvira Zondra<sup>2</sup>, Darmansyah<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lancang Kuning

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru

Koresponden Author : elviraz@unilak.ac.id

### Abstrak

Motor induksi merupakan mesin listrik yang banyak digunakan sebagai penggerak diantaranya motor induksi sebagai penggerak *roll rotary machine* untuk industri, pompa air, penggerak alat-alat perkakas dan penggerak peralatan rumah tangga. Produksi *plywood* memerlukan proses pengupasan sampai menjadi *plywood*. *Rotary machine* berfungsi sebagai stasiun untuk mengupas *sawn log* menjadi *veneer*. Alat ini menggunakan dua buah mata pisau yang digunakan untuk mengupas kayu *log*. *Rotary machine* dikendalikan oleh panel pengendali agar mendapatkan ketebalan *veneer* yang diinginkan. Dari penelitian *rotary machine 4 feet* dengan ketebalan *veneer core* 2,75 mm, 2,55 mm, 2,25 mm. Penelitian akhir ini dilakukan analisis rugi-rugi daya dan efisiensi menggunakan metode *segregated loss* terhadap motor induksi penggerak *roll rotary machine*. Dari hasil tugas akhir ini mencari rugi tembaga rotor, rugi tembaga stator, rugi stray, rugi gesek dan angin pada setiap torsi. Torsi beban 146,2 N.m total rugi-rugi sebesar 1175,2788 W, Torsi beban 134,9 N.m total rugi-rugi sebesar 1113,7031 W, Torsi beban 116,6 N.m total rugi-rugi sebesar 1081,4911 W, Torsi beban 103,7 N.m total rugi-rugi sebesar 1043,1542 W. Sedangkan efisiensi Torsi beban 146,2 N.m sebesar 89,792%, Torsi beban 134,9 N.m sebesar 89,541%, Torsi beban 116,6 N.m sebesar 89,193%, Torsi beban 103,7 N.m sebesar 88,953%.

**Kata Kunci:** Motor Induksi Tiga fasa, *Roll Rotary Machine*, Rugi-Rugi Daya, Efisiensi.

### Abstract

*An induction motor is an electric machine that is widely used as a driver, including induction motors as a roll rotary machine for industry, water pumps, tools and household appliances. Plywood production requires a stripping process to become plywood. The rotary machine functions as a station for peeling sawn logs into veneers. This tool uses two blades that are used to strip wood logs. The rotary machine is controlled by the control panel to get the desired veneer thickness. From research on a 4 feet rotary machine with veneer core thicknesses of 2.75 mm, 2.55 mm, 2.25 mm. In this final research, an analysis of power losses and efficiency using the segregated loss method was carried out on an induction motor driving a roll rotary machine. From the results of this final project look for rotor copper loss, stator copper loss, stray loss friction and windage losses for each torque. Load torque 146.2 N.m total loss 1175.2788 W, Load torque 134.9 N.m total loss 1113.7031 W, Load torque 116.6 N.m total loss 1081.4911 W, Load torque 103.7 N.m total losses of 1043.1542 W. While the efficiency of 146.2 N.m load torque is 89.792%, 134.9 N.m load torque is 89.541%, 116.6 N.m load torque is 89.193%, load torque is 103, 7 N.m of 88.953%.*

**Keywords:** *Three Phase Induction Motor, Roll Rotary Machine, Power Losses, Efficiency.*

### 1. PENDAHULUAN

Motor induksi tiga fasa merupakan alat yang paling penting di dalam dunia perindustrian

yang kegunaannya paling sering digunakan sebagai penggerak yang akan menjalankan segala proses di dalam dunia perindustrian. Motor induksi tiga fasa merupakan komponen

yang penting dan telah banyak digunakan di mesin - mesin industri sebagai penggerak. Hal ini dikarenakan motor induksi tiga fasa memiliki kelebihan dari segi teknis dan segi ekonomis. Belakangan, permasalahan pada suatu perusahaan dalam penggunaan motor induksi jangka panjang adalah kurang memperhatikan effisiensinya. Padahal di masa kini dan nanti masa depan, tentu biaya bahan bakar akan terus meningkat karena masalah lingkungan dan sumber energi yang terbatas serta lain – lainnya [1].

Motor induksi yang sudah digunakan pasti akan mengalami penurunan torsi dan effisiensi karena penurunan kemampuan nilai material. Permasalahan ini berpengaruh pada kinerja motor induksi. Bila hal itu dibiarkan dalam jangka waktu yang panjang, maka akan mendapat mengganggu kinerja motor, dapat menimbulkan gangguan mekanis dan elektrik, bahkan mengurangi effisiensi kerja motor induksi [1].

Oleh sebab itu perlu dilakukan penelitian tentang Analisis Efisiensi Motor Induksi Tiga Fasa Sebagai Penggerak Roll *Rotary Machine* Dengan Metode *Segregated Loss*. Untuk mengetahui effisiensi motor tersebut, maka perlu dilakukan analisa rugi - rugi daya motor induksi *rotary machine*. Dengan mengetahui effisiensi dari motor tersebut, maka kita dapat mempertimbangkan motor induksi yang akan digunakan dan mengetahui apa efek yang dapat ditimbulkan terhadap kinerja motor induksi 3 fasa tersebut.

### Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi 3 fasa merupakan sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik dengan prinsip induksi. Motor induksi dibagi menjadi dua berdasarkan jumlah fasanya, yaitu motor induksi satu fasa dan motor induksi tiga fasa [2].

### Prinsip Kerja Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi adalah peralatan listrik yang mengubah energi listrik ke bentuk energi mekanik. Dalam motor induksi, tidak ada hubungan listrik ke rotor, arus rotor merupakan arus induksi. Arus ini berada dalam medan magnetik sehingga akan terjadi gaya pada rotor yang akan menggerakkan rotor dalam arah tegak lurus medan.

Apabila terminal stator motor induksi tiga fasa dihubungkan dengan sumber tegangan tiga fasa, maka pada kumparan stator mengalir arus tiga fasa. Arus pada tiap fasa menghasilkan fluksi bolak-balik yang berubah-ubah. Amplitudo fluksi yang dihasilkan berubah secara sinusoidal dan arahnya tegak lurus terhadap belitan fasa. Penjumlahan ketiga fluksi bolak-balik tersebut disebut medan putar yang berputar dengan kecepatan sinkron  $n_s$ , besarnya nilai  $n_s$  ditentukan oleh jumlah kutub  $P$  dan frekuensi sumber tegangan  $f$ . Fluksi yang berputar tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor. Akibatnya pada kumparan rotor timbul tegangan induksi gaya gerak listrik sebesar  $E_2$ . Karena kumparan rotor merupakan rangkaian tertutup, maka ggl tersebut akan menghasilkan arus  $I_2$ , dimana arus  $I_2$  adalah arus pada rotor dalam satuan Amper. Adanya arus  $I_2$  di dalam medan magnet akan menimbulkan gaya  $F$  pada rotor. Bila kopel mula yang dihasilkan oleh gaya  $F$  cukup besar untuk memikul kopel beban, rotor akan berputar searah medan putar stator. Perbedaan kecepatan medan stator ( $n_s$ ) dan kecepatan rotor ( $n_r$ ) disebut slip ( $s$ ) dan dinyatakan dengan:

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

Keterangan:

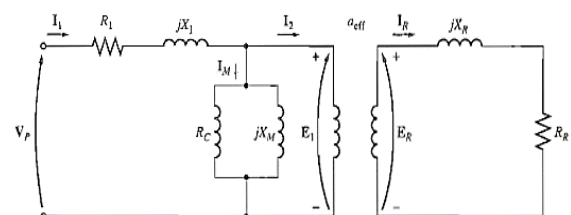
$n_s$  = Kecepatan medan putar stator (rpm)

$n_r$  = Kecepatan putar rotor (rpm)

$s$  = Slip

### Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi tiga fasa bergantung kepada proses induksi tegangan dan arus pada rotor dari rangkaian stator (aksi transformator). Karena induksi tegangan dan arus pada rangkaian rotor motor induksi tiga fasa ini lah rangkaian ekuivalen motor induksi tiga fasa pada hakikatnya sama dengan rangkaian ekuivalen transformator, seperti Gambar 1 [3].



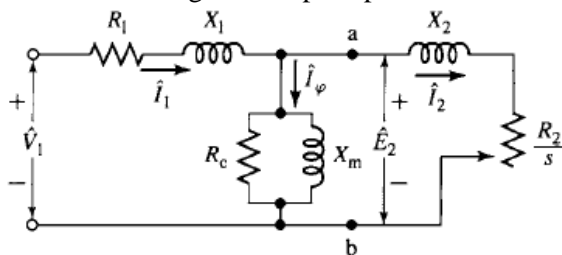
Gambar 1. Model Transformator Ideal dari Motor Induksi Tiga Fasa

Akan lebih mudah untuk menganalisis rangkaian fasa banyak, seperti motor induksi, jika dianggap rangkaian tersebut terhubung bintang (Y), agar nilai arus yang digunakan adalah arus fasa-fasa dan tegangan yang digunakan adalah tegangan fasa –netral. Dalam hal ini, rangkaian ekivalen satu fasa dapat diturunkan, dengan pemahaman bahwa arus dan tegangan dari fasa lain dapat ditemukan dengan mudah dengan cara menggeser fasa  $\pm 120^\circ$  dari sudut fasa rangkaian yang diteliti.

Karena resultan gaya gerak magnet pada celah udara ditentukan dari penjumlahan fasor dari arus stator dan arus rotor, maka dinyatakan bahwa  $I_2$  dan  $I_{2s}$  memiliki fasa yang sama sehingga:

$$I_2 = \frac{V(I_1 \times Z_1)}{Z_2} \quad (2)$$

Maka didapatlah rangkaian ekivalen motor induksi tiga fasa seperti pada Gambar 2.



Gambar 2 Rangkaian Ekivalen Motor Induksi TigaFasa

Efek gabungan dari beban poros rotor dan tahanan rotor ditunjukkan oleh  $R_2/s$  [4]. Untuk mencari rumus arus stator  $I_1$ , tahanan rugi inti bisa diabaikan, sehingga:

$$Z_{eq} = \frac{jX_m \times Z_2}{jX_m + Z_2} \quad (3)$$

$$Z_{total} = Z_1 + Z_{eq} \quad (4)$$

$$I_1 = \frac{V_\phi}{Z_{total}} \quad (5)$$

### Efisiensi

Efisiensi motor induksi adalah ukuran keefektifan motor induksi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanis yang dinyatakan sebagai perbandingan antara masukan dan keluaran atau dalam bentuk energi listrik berupa perbandingan watt keluaran dan watt masukan. Defenisi NEMA terhadap

efisiensi energi adalah bahwa efisiensi merupakan perbandingan atau rasio dari daya keluaranyang berguna terhadap daya input total dan biasanya dinyatakan dalam persen, juga sering dinyatakan dengan perbandingan antara keluaran dengan keluaran ditambah rugi-rugi, yang dirumuskan dalam persamaan 6 [6]

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (6)$$

Dari persamaan terlihat bahwa efisiensi motor bergantung pada besar rugi-ruginya. Rugi-rugi pada persamaan tersebut adalah penjumlahan keseluruhan komponen rugi-rugi yang dibahas di atas.

Pada motor induksi pengukuran efisiensi motor induksi ini sering dilakukan dengan beberapa cara seperti:

- Mengukur langsung daya elektrik masukan dan daya mekanis keluaran.
- Mengukur langsung seluruh rugi-rugi dan daya masukan.
- Mengukur setiap komponen rugi-rugi dan daya masukan.

Dimana pengukuran daya masukan tetap dibutuhkan pada ketiga cara di atas. Umumnya, daya elektrik dapat diukur dengan sangat tepat, keberadaan daya mekanis yang lebih sulit untuk diukur. Saat ini sudah dimungkinkan untuk mengukur torsi dan kecepatan dengan cukup akurat yang bertujuan untuk mengetahui harga efisiensi yang tepat. Pengukuran pada keseluruhan rugi-rugi ada yang berdasarkan teknik kalori metri. Walaupun pengukuran dengan metode ini relatif sulit dilakukan, keakuratan yang dihasilkan dapat dibandingkan dengan hasil yang didapat dengan pengukuran langsung pada daya keluarannya.

Kebanyakan dari pabrikan lebih memilih melakukan pengukuran komponen rugi-rugi secara individual, karena dalam teorinya metode ini tidak memerlukan pembebanan pada motor, dan ini adalah suatu keuntungan bagi pabrikan. Keuntungan lainnya yang sering disebut adalah bahwa memang benar error pada komponen rugi-rugi secara individual tidak begitu mempengaruhi keseluruhan efisiensi [5]

### Metode Segregated Loss

Metode *Segregated Loss* merupakan salah satu metode untuk menentukan efisiensi motor

induksi dengan cara memisahkan rugi-rugi sesuai dengan persamaan 14, rugi-rugi daya tersebut adalah rugi tembaga stator ( $P_{SCL}$ ), rugi inti ( $P_C$ ), rugi tembaga rotor ( $P_{RCL}$ ), rugi gesekan dan angin ( $P_{F\&W}$ ), dan rugi liar (*stray*) ( $P_{STR}$ ) [3]. Persamaan 13 bisa dibuat menjadi:

$$\eta = \frac{P_{in} - (P_{SCL} + P_{RCL} + P_C + P_{STR} + P_{F\&W})}{P_{in}} \times 100\% \quad (7)$$

Arus yang masuk ke suatu fasa motor bisa kita dapat dengan cara membagi tegangan dengan impedansi ekuivalen total:

$$I_1 = \frac{V_\phi}{Z_{eq}} \quad (8)$$

Dengan  $Z_{eq}$ :

$$Z_{eq} = R_1 + jX_1 + \frac{1}{\left(\frac{R_c jX_m}{R_c + jX_m}\right) + \frac{1}{R_2 + jX_2}} = R_1 + jX_1 + \frac{1}{G_c - jB_m + \frac{1}{R_2 + jX_2}} \quad (9)$$

Sehingga, rugi tembaga stator tiga fasa bisa kita cari:

$$P_{SCL} = 3I_1^2 R_1 \quad (10)$$

Rugi tembaga rotor bisa menggunakan persamaan:

$$P_{RCL} = 3I_2^2 R_2 \quad (11)$$

Torsi yang didapatkan adalah torsi yang bekerja pada as motor atau torsi beban. Sehingga daya output dari motor induksi tiga fasa adalah:

$$P_{out} = \tau_{load} - \omega_r \quad (12)$$

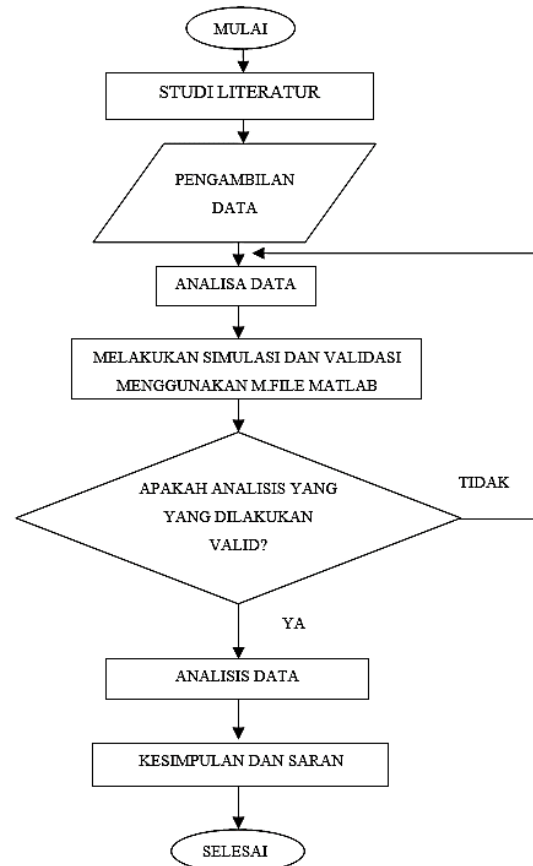
$$P_{IN} = \sqrt{3} V_L I_1 PF \quad (13)$$

Terakhir, jika rugi inti, rugi gesekan dan rugi stray diketahui, daya keluaran motor bisa dicari:

$$P_{out} = P_{in} - (P_{SCL} + P_{RCL} + P_C + P_{STR} + P_{F\&W}) \quad (14)$$

## 2. METODE PENELITIAN

### Alur Penelitian



Gambar 3. Flowchart Penelitian

### Data Spesifikasi Mesin

Objek Studi dalam penelitian ini adalah pada sisi penggerak roll dengan nomor model SRL-N-5-350 seperti pada Gambar 4 dan spesifikasi mesin pada Tabel 1 berikut:



Gambar 4. Aplikasi Motor yang Terpasang di Rotary Machine Unit 3 PT. Asia Forestama Raya

Tabel 1. Spesifikasi Mesin Rotary 4 Feet  
 Technical Data NS Spindleless 4 Feet

Type	SRL-N-5-350
Serial No	PRE-152
The Peeling Log Length	970-1270 mm
Rotary Cutting Log Diameter	Max 500- Core 31mm
Rotary Cutting Venner Speed	41 m/min
The Main Auxialiary Motor	Host: 11 kw Feed: 7,5 kw

### Rating Nameplate Motor

Tabel 2 berikut merupakan Spesifikasi Motor YUEMA berdasarkan pada Nameplate dan Katalog motor. Dengan data Spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 2. Spesifikasi Motor berdasarkan Katalog Motor YUEMA

YUEMA 3 PHASE ELECTRIC MOTOR	
URAIAN	DATA
Type	YU 180L-8
Tegangan (V)	660 Y/380 Δ
Frekuensi (Hz)	50
Power (kW)	11
Kecepatan (rpm)	719
Arus Nominal (Amp)	14,3 Y/24,8 Δ
Power Factor (Cos φ)	0,77
Class of Temperature rise Motor	F
Torsi Nominal Motor (N.m)	146,2

Data parameter motor induksi tiga fasa pada PT. Asia Forestama Raya terdapat pada Tabel 3:

Tabel 3. Data parameter Motor Induksi Tiga fasa  
 Parameter Motor 15 Horse Power Machine Rotary

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Tahanan Stator	R1	0,2203	Ohm
Reaktansi Stator	X1	0,73025	Ohm
Tahanan Rotor	R2	0,2493	Ohm
Tahanan Rotor Reaktansi Magnetisasi	X2 Xm	0,73025 1,8742	Ohm Ohm
Resistansi Inti	Rc	855,2905	Ohm

Tabel berikut merupakan hasil dari Test report motor YUEMA yang terpasang dilapangan, dengan data sebagai berikut :

Tabel 4. Hasil test report motor

Pengujian	Torsi (N.m)	Teg. Line (V)	f (Hz)	I <sub>a</sub> (Amp)	P <sub>in</sub> (kW)	P <sub>out</sub> (kW)	n (r/min)	Cos φ	η (%)
Test Tanpa Beban		380 D	50	12,4	5,83		722	0,32	
Test Rotor Terkunci		82,8 D	50	24,9	7,32		0	0,46	
Test Beban Penuh	146,2	380,2 D	50	24,8	12,11	11	719	0,77	87,2
Test beban Parsial									
Ketebalan Core 2,75 mm	134,9	380,3 D	50	21,2	10,8	10,1	715	0,72	93,5
Ketebalan Core 2,55 mm	116,6	380,2 D	50	19,6	9,2	8,9	717	0,67	96,7
Ketebalan Core 2,25 mm	103,7	380,1 D	50	18,2	8,7	7,8	718	0,65	89,6
Overload Torsi	160% dengan waktu 10 detik								

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Analisa Pengujian Berbeban

Untuk mencari slip, digunakan persamaan (1) adapun hasil perhitungan slip berdasarkan kecepatan pada Tabel 4:

Untuk  $\tau_{load} = 146,2$  N.m:

$$s = \frac{722 - 719}{722} = 0,00415$$

Untuk  $\tau_{load} = 134,9$  N.m:

$$s = \frac{722 - 715}{722} = 0,00969$$

Untuk  $\tau_{load} = 116,6$  N.m:

$$s = \frac{722 - 717}{722} = 0,00692$$

Untuk  $\tau_{load} = 103,7$  N.m:

$$s = \frac{722 - 718}{722} = 0,00554$$

Perhitungan  $Z_{eq}$  dan  $Z_{total}$  berturut-turut menggunakan persamaan 3 dan 4, untuk mencari faktor daya menggunakan metode konvensional, yang digunakan untuk pencarian  $I_1$  sesuai dengan persamaan 5 dan pencarian  $I_2$  sesuai dengan persamaan 2. Seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Perhitungan, Slip,  $I_1$ , Faktor Daya dan  $I_2$

Torsi Beban (N.m)	Slip	$I_1$ (Amp)	Faktor Daya	$I_2$ (Amp)
146,2	0,00415	21,9142	0,7983	20,9065
134,9	0,00969	20,772	0,7789	19,9458
116,6	0,00692	19,5424	0,7781	19,9642
103,7	0,00554	18,0245	0,7960	19,9424

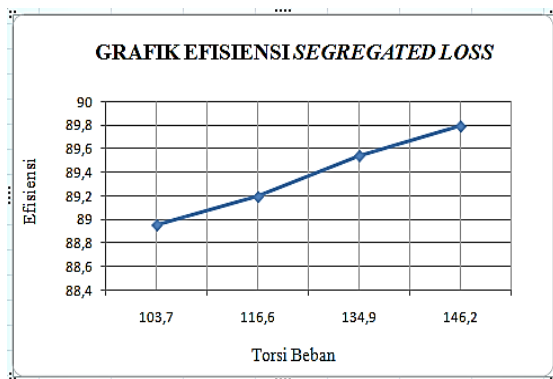
**Analisis Efisiensi Segregated Loss**

Setelah melakukan perhitungan rugi-rugi daya yang terdapat pada motor induksi maka dapat ditentukan bagaimana efisiensi pada motor induksi tersebut dengan persamaan 14 dan 7. Untuk hasil seperti pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Efisiensi Segregated Loss

Torsi Beban (N.m)	$P_{output}$ (Watt)	$P_{input}$ (Wat)	Efisiensi (%)
146,2	10338,9796	11514,2584	89,792
134,9	9535,3271	10648,8875	89,541
116,6	8926,7449	10008,236	89,193
103,7	8400,0747	9443,2289	88,953

Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi *segregated loss* yang dilakukan maka dapat dibuatkan grafik seperti Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Efisiensi Berdasarkan Hasil Perhitungan Manual

Dari Gambar 5 Grafik Efisiensi Berdasarkan Hasil Perhitungan Manual diatas yang mana data nya didapatkan pada Tabel 6 menjelaskan bahwa efisiensi yang terkecil di torsi beban 103,7 N.m dengan Efisiensi 88,953

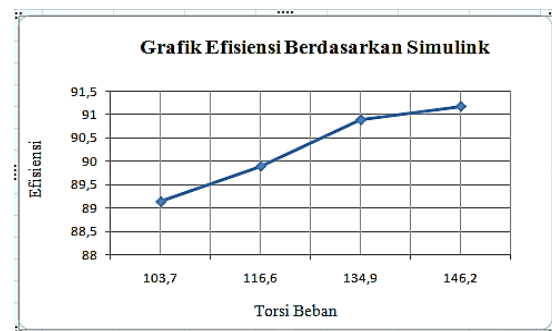
% sedangkan Efisiensi yang terbesar di torsi beban 146,2 N.m dengan Efisiensi 89,792%.

Setelah melakukan perhitungan efisiensi dengan cara manual kemudian melakukan perhitungan efisiensi menggunakan Simulink maka didapatkan sebagai berikut:

Tabel 7. Hasil Perhitungan Simulink

Torsi Beban (N.m)	$P_{output}$ (Watt)	Efisiensi (%)
146,2	10674,112	91,169
134,9	9890,971	90,881
116,6	9250,900	89,891
103,7	8757,174	89,134

Dari Tabel 7 diatas menjelaskan bahwa hasil perhitungan simulink  $P_{out}$  dan Efisiensi yang terkecil di torsi beban 103,7 N.m dengan Efisiensi 89,134 % sedangkan  $P_{out}$  dan Efisiensi yang terbesar di torsi beban 146,2 N.m dengan Efisiensi 91,169 %.



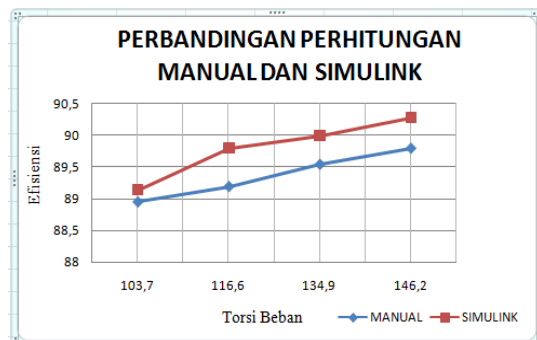
Gambar 6. Grafik Efisiensi Berdasarkan Hasil Simulink

Dari Gambar 6 Grafik Efisiensi Berdasarkan Hasil Perhitungan Simulink diatas yang mana data nya didapatkan pada Tabel 7 menjelaskan bahwa efisiensi yang terkecil di torsi beban 103,7 N.m dengan Efisiensi 89,134 % sedangkan Efisiensi yang terbesar di torsi beban 146,2 N.m dengan Efisiensi 91,169 %.

Tabel 8. Hasil Perbandingan Efisiensi Berdasarkan Perhitungan Manual dan Simulink

Torsi Beban (N.m)	Efisiensi Perhitungan Manual (%)	Efisiensi Perhitungan Simulink (%)
146,2	89,792	91,169
134,9	89,541	90,881
116,6	89,193	89,891
103,7	88,953	89,134

Dari Tabel 8 maka dapat dibuatkan grafik perbandingan efisiensi hasil perhitungan manual dan hasil perhitungan simulink yang dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Grafik Perbandingan Hasil Perhitungan Efisiensi Manual dan Simulink

Dari Gambar 7 Menjelaskan hasil grafik perbandingan hasil perhitungan efisiensi manual dan simulink diatas yang mana data nya didapatkan pada Tabel 8.

#### 4. KESIMPULAN

##### Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengukuran dan hasil analisis- analisis efisiensi motor induksi tiga fasa metode *segregated loss* maka didapatkanlah beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Dalam penelitian ini setelah dilakukan perhitungan manual didapat total rugi-rugi daya motor induksi tiga fasa sebagai berikut: Rugi tembaga stator ( $P_{SCL}$ ): 317,3854 W pada torsi beban 146,2 N.m, 214,7149 W pada torsi beban 103,7 N.m. Rugi tembaga rotor ( $P_{RCL}$ ): 326,8934 W pada torsi beban 146,2 N.m, pada torsi beban 116,9 N.m, 298,0899 W pada torsi beban 103,7 N.m. Rugi Stray ( $P_{STR}$ ): 198 W. Rugi gesek dan angin ( $P_{F+W}$ ): 111 W. Rugi Inti ( $P_C$ ): 222 W, maka dapat disimpulkan bahwa dari perhitungan manual rugi-rugi total dalam kondisi baik.
2. Dalam penelitian ini setelah dilakukan perhitungan efisiensi menggunakan metode *segregated loss* didapat efisiensi sebagai berikut: Pada saat torsi beban 146,2 N.m nilai efisiensi yang didapat adalah 89,792%, Pada saat torsi beban 103,7 N.m nilai efisiensinya 88,953%, maka dapat disimpulkan bahwa efisiensi motor induksi dalam kondisi baik.

##### Saran

Disarankan mempertahankan penggunaan motor pada beban tidak lebih 80% dari spesifikasi mesin.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nova, D., & Hardani, K. (2018). Analisis Torsi dan Efisiensi pada Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Sangkar. 19(2).
- [2] Wijaya, M. (2001). *Dasar-Dasar Mesin Listrik*. Penerbit Djambatan.
- [3] Chapman, S. J. (2012). *Electric Machine Fundamentals, Fifth Edition* (5th Editio). McGraw-Hill.
- [4] Fitzgerald, A. E., Kingsley Jr., C., & Umans, S. D. (2003). *Electric Machinery* (6th ed.). McGraw-Hill.
- [5] Sudibyo, D. k. . (2016). Analisis Efisiensi Motor Induksi Pada Kondisi Tegangan Non Rating Dengan Metode Segregated Loss. *Teknosia, II*.
- [6] Zondra E, Arrohman, (2024), Studi Estimasi Parameter Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi Tiga Fasa Di PT.Pindo Deli Perawang, *SainETIn*, vol. 9, no. 1, pp. 11–18, Dec. 2024, doi: 10.31849/sainetin.v9i1.10928.