

PERANCANGAN MODUL *PRONY BRAKE* UNTUK PENENTUAN KARAKTERISTIK MEKANIK (TORSI TERHADAP KECEPATAN) DAN EFISIENSI MOTOR INDUKSI 3 FASA

Muhammad Yahya^{*}), Tejo Sukmadi, and Bambang Winardi

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*}E-mail: myahya0594@gmail.com

Abstrak

Karakteristik motor induksi 3 fasa dipengaruhi oleh pembebanannya. Dua parameter yang penting diketahui adalah nilai torsi dan efisiensi motor induksi ketika dibebani. Namun, pembebanan motor yang signifikan untuk mengetahui karakteristik tersebut belum dimanfaatkan. Dengan penelitian ini, diharapkan nilai torsi dan efisiensi karena pengaruh pembebanan ini bisa didapatkan. Salah satu cara untuk mengetahui unjuk kerja motor induksi 3 fasa yaitu dengan menggunakan *prony brake*. *Prony brake* merupakan salah satu *dynamometer* jenis penyerapan karena kerjanya bergantung torsi tarikan yang mengubah energi mekanik menjadi panas akibat gesekan antara beban *pulley* dan tali kawat. Pembebanan *prony brake* mampu menghasilkan torsi lawan dan pembebanan yang cukup signifikan. Dari hasil penelitian didapatkan pembebanan *prony brake* mampu memberikan pembebanan sebesar 191,02 W (25,47 % beban penuh) hingga 656,07 W (87,49% beban penuh). Nilai torsi keluaran dan efisiensi terkecil sebesar 0,9893 Nm yang terjadi ketika pembebanannya 25,47%. Lalu torsi keluaran terbesarnya adalah 5,5051 Nm ketika pembebanan 87,48 %. Sedangkan efisiensi terbesarnya adalah 74,21 % ketika pembebanan 80 %. Rugi-rugi daya maksimal dalam penelitian ini didapatkan ketika pembebanan 87,48% sebesar 287,59 W dengan komposisi rugi-rugi daya inti 80,58W, rugi-rugi karena angin dan gesek 22,7 W, rugi-rugi tembaga stator 139,63 W, dan rugi-rugi tembaga rotor 44,68 W.

Kata Kunci : motor induksi tiga fasa, pembebanan, prony brake, torsi, efisiensi

Abstract

Characteristics of three-phase induction motor is affected by the loading. Two important parameters here is torque and efficiency when underload. However, the significant load to determine the performance of a three-phase induction motor hasn't been used. One way to determine the performance of three-phase induction motor is by using prony brake. Prony brake is a type of dynamometer, absorption type, because it depends on the pull-torque that converts mechanical energy into heat due to friction between the load (pulley) and the wire-rope. Prony brake is capable of producing load and opponent-torque significantly. Based on experimental results, it can be obtained that prony brake is able to provide loading of 191,02 W (25,47 % full-load) to 656,07 W (87,49 % full-load). The smallest output torque and efficiency of the motor is 0,9893 Nm that occurred when loading is 25,47 % full-load. Then, the biggest torque is 5,5051 Nm when loading is 87,48 % full-load. Meanwhile, the biggest efficiency is 74,21 % when loading is 80 % full-load. Maximum power losses in this research is 287,59 W, included core power losses 80,58 W, windage and friction losses 22,7 W, stator copper losses 139,63 W, and the rotor copper losses 44,68 W.

Keywords : 3-phase induction motor, loading, prony brake, torque, efficiency

1. Pendahuluan

Penggunaan motor induksi juga semakin luas. Hal ini dikarenakan penggunaannya yang mudah, ketahanan yang tinggi, efisiensi yang tinggi dan biaya perawatan yang murah [1]. Ghazali menemukan bahwa efisiensi maksimum suatu motor induksi dengan kapasitas 1,1 kW,

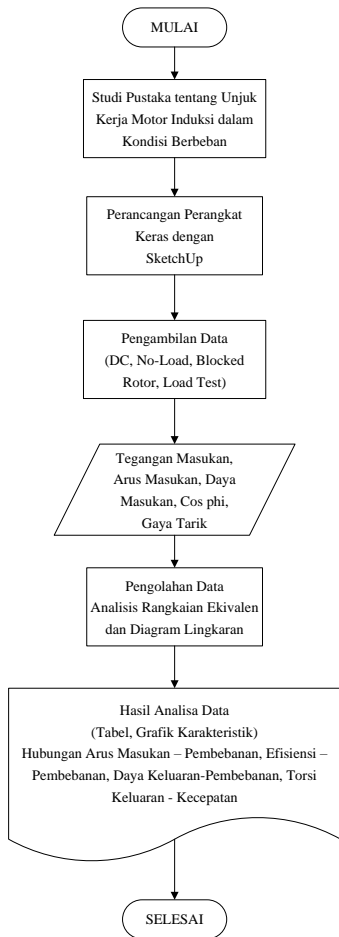
tegangan 200 V dan kecepatan 1380 rpm adalah sebesar 86,49% pada saat kondisi 66,5% beban penuhnya [2].

Dua parameter unjuk kerja motor induksi yang penting disini adalah nilai torsi dan efisiensi motor induksi ketika dibebani. Namun, modul pembebanan yang bisa membebani secara signifikan belum dimiliki oleh Laboratorium Teknik Elektro Undip. Sebuah pembebanan

mekanik bisa menggunakan *dynamometer* [3]. *Prony Brake* merupakan salah satu *dynamometer* berjenis penyerapan karena kerjanya bergantung pada pengaturan torsi tarikan, mengubah energi mekanik menjadi panas [4]. Alat ini akan mengubah daya keluaran motor menjadi energi panas karena pergesekan antara poros rotor dengan caput kamps tersebut [5]. Sistem *prony brake* yang dibuat ini memiliki pengaturan torsi beban secara vertikal dan horizontal untuk mencapai kondisi pembebanan yang diinginkan. Melalui pengujian beban nol dan hubung singkat akan didapatkan rangkaian ekuivalen, kemudian dihitung torsi dan efisiensinya.

2. Metode
2.1. Flowchart

Diagram alir dari penelitian yang telah dilakukan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.2. Perancangan Perangkat Keras
2.2.1. Spesifikasi Motor Induksi 3 Fasa

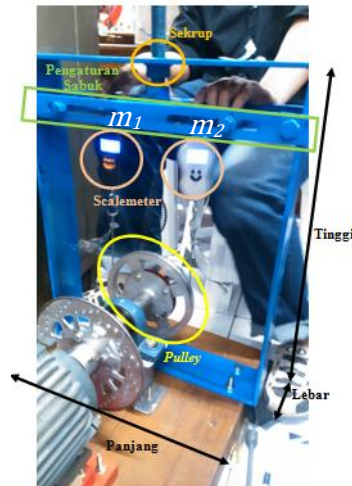
Motor induksi yang digunakan adalah motor induksi 3 fasa 1 HP / 0,75 kW merk Tatung, model TEFC-D80M.

Tabel 1. Spesifikasi motor induksi 3 fasa

Motor Induksi 3 Fasa Tatung D80M	
Output	: 0,75 kW
Poles	: 4
Voltage	: 380 - 415 V (Y)
FL Amps	: 1,9 A
Frequency	: 50 Hz
FL Efficiency	: 72 %
Full Load RPM	: 1400
Maximum Torque	: 420 %

2.2.1. Perancangan Pembebanan Prony Brake

Prony Brake memiliki tiga komponen utama yaitu, beban *pulley* [4], pengatur tegangan sabuk, dan bingkai. Pembuatan gambar perancangan dilakukan menggunakan software SketchUp. Hasil *prony brake* dapat dilihat pada Gambar 2. Spesifikasi keseluruhan *prony brake* yang dibuat dapat dilihat pada Tabel 2.



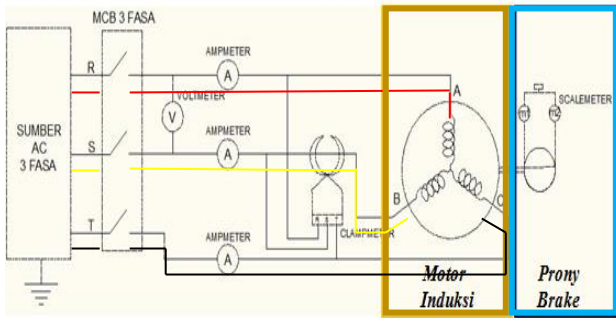
Gambar 2. Prony Brake

Tabel 2. Spesifikasi *prony brake*

Prony Brake	
Tipe	: Penyerap Panas
Pengaturan Sabuk	
Vertikal (cm)	: 20
Horizontal (cm)	: 10
Panjang Sabuk (cm)	: 63
Jumlah Scalemeter	: 2
Maksimal Torsi Beban (Nm)	: 20
Dimensi Bingkai	
Panjang (cm)	: 50
Tinggi (cm)	: 62,7
Lebar (cm)	: 10
Berat Bingkai (kg)	: 15
Dimensi Beban	
Diameter Pulley (cm)	: 18
Lebar Pulley (cm)	: 3
Diameter Poros (cm)	: 3
Berat Beban (kg)	: 3
Berat Total (kg)	: 21,58 kg

2.3. Rangkaian Percobaan

Percobaan yang dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja motor induksi adalah percobaan beban nol, percobaan resistansi stator arus searah, percobaan hubung singkat dan percobaan berbeban [5-6]. Rangkaian percobaan dalam penelitian ini terlihat pada Gambar 3.

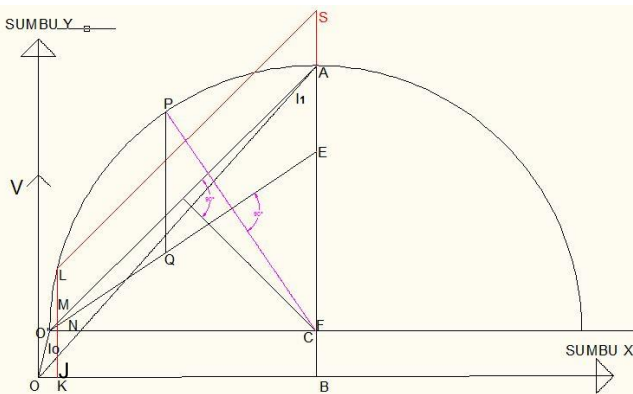


Gambar 3. Rangkaian Percobaan

Sumber tegangan 3 fasa diambil dari regulator tegangan Hampden Instrument. Pengukuran tegangan menggunakan multimeter PC-5000, arus menggunakan tangamper, daya dan faktor daya menggunakan clampmeter. Sedangkan gaya tarikan menggunakan scalemeter, kecepatan motor menggunakan tachometer digital.

2.4. Diagram Lingkaran

Karakteristik dari suatu unjuk kerja motor induksi dapat dilihat dari diagram lingkarannya [7-10]. Parameter yang diketahui dari diagram lingkaran ini berupa rugi-rugi tetap, rugi-rugi tembaga rotor, rugi-rugi tembaga stator [11]. Konstruksi diagram lingkaran secara umum terlihat pada Gambar 4. Diagram lingkaran akan dibuat menggunakan software AutoCad karena memiliki ketelitian yang bagus.



Gambar 4. Diagram lingkaran motor induksi 3 fasa [10]

Keterangan :

- OL = Arus masukan
- FB = Rugi-rugi tetap
- MN = Rugi tembaga rotor
- JN = Rugi tembaga stator
- LN = Daya masukan rotor
- $LN - JN$ = Torsi Keluaran
- $\frac{LM}{LK} = \frac{\text{Daya keluaran motor}}{\text{Daya masukan motor}} = \text{Efisiensi}$
- $\frac{LK}{MN} = \frac{\text{Rugi tembaga rotor}}{\text{Daya Masukan rotor}} = \text{Slip}$

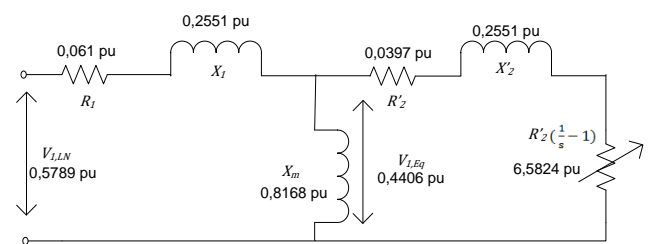
3. Hasil dan Analisa

3.1. Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi

Dengan menggunakan analisis rangkaian ekuivalen, maka didapatkan parameter rangkaian ekuivalen motor induksi 3 fasanya seperti yang tertulis pada Tabel 6. Gambar rangkaian ekuivalen per fasanya dalam sistem pu terlihat pada Gambar 5.

Tabel 5. Parameter rangkaian ekuivalen motor induksi

Parameter	Nilai	Keterangan	Satuan
R_1	12,20	Tahanan stator	Ohm
X_1	51,015	Reaktansi stator	Ohm
R_m	600,63	Resistansi magnetisasi inti	Ohm
X_m	163,355	Reaktansi ekuivalen inti besi	Ohm
R'_2	7,9466	Tahanan rotor	Ohm
X'_2	51,015	Reaktansi rotor	Ohm
$V_{1,LN}$	220	Tegangan line-neutral stator	Volt
$V_{1,eq}$	167,42	Tegangan ekuivalen rotor/fasa	Volt



Gambar 5. Rangkaian ekuivalen per-fasa motor induksi Tatung 0,75 kW

3.2. Analisis Kemampuan Pembebanan Prony Brake

Besarnya daya mekanik yang membebani motor dapat diketahui dengan menggunakan Persamaan 1. Daya mekanik lawan (P_{load}) ini dalam kgf m/s merupakan daya lawan dari beban *prony brake* yang melawan putaran motor induksi. Untuk mendapatkan daya beban perlu dihitung gaya tarikan (F) menggunakan Persamaan 2 dan kecepatan tarik (v) menggunakan Persamaan 3 [4]. Satuan daya mekanik dalam kgf m/s diubah menjadi mekanik hp (metric) yang kemudian dikonversi kedalam W menggunakan Persamaan 4 [12].

$F = |m_1 - m_2|$ dalam kgf

$v = n_m \cdot 2\pi r$ dalam m/s

$P_{load} = F \cdot v$ dalam kgf m/s

$P_{load} = \frac{(kgf \text{ m/s}) \times 735,5}{75}$ dalam W

Tabel 6. Hasil perhitungan besar beban *prony brake*

Variasi	Posisi Sekrup (Putaran)	Gaya Lawan (kgf)	Kecepatan Tarik (m/s)	Daya Beban (W)
L1 = L2 = 0 cm	0,25	2,190	13,791	296,16
	0,5	3,825	13,471	505,29
	0,75	4,545	13,461	599,98
L1 = -2 cm L2 = -4 cm	1	5,102	13,207	660,79
	0,25	2,045	13,763	276,00
	0,5	2,810	13,471	371,21
L1 = -4 cm L2 = -2 cm	0,75	4,645	13,282	605,03
	1	4,995	13,188	646,00
	0,25	1,400	13,913	191,02
L1 = -4 cm L2 = -2 cm	0,5	3,159	13,452	416,73
	0,75	3,785	13,395	497,21
	1	4,885	13,292	636,74

3.3. Analisis Rugi-Rugi Daya

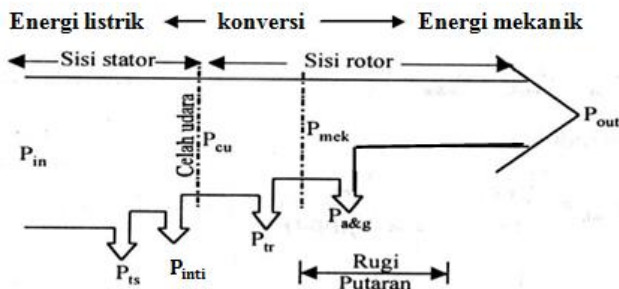
Daya masukan berupa energi listrik dari sumber tegangan yang masuk ke motor diubah menjadi energi mekanik pada poros motor yang diikuti rugi-rugi daya seperti Gambar 6. Dalam proses konversi energi ini akan muncul berbagai rugi-rugi, seperti rugi-rugi tembaga stator (P_{ts}), rugi-rugi inti (P_{inti}), rugi-rugi tembaga rotor (P_{tr}), dan rugi-rugi karena angin dan gesek ($P_{a\&g}$) menggunakan Persamaan 5-8 [6][11].

$$P_{inti} = \frac{V_1 \cdot I_m^2}{R_m}$$

$$P_{a\&g} = P_{NL} - P_{ts} \tag{6}$$

$$P_{ts} = 3 I_1^2 R_1 \tag{7}$$

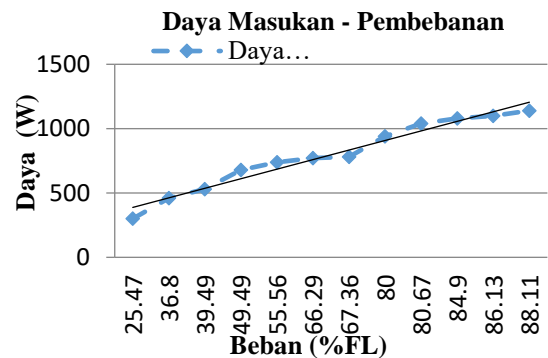
$$P_{tr} = 3 I_2^2 R'_2 \tag{8}$$



Gambar 6. Aliran daya motor induksi [6]

Tabel 7. Hasil perhitungan rugi-rugi daya

Beban (W)	Beban (%FL)	Daya Masukan (W)	P_{inti} (W)	$P_{a\&g}$ (W)	P_{ts} (W)	P_{tr} (W)
191,02	25,47	300	80,58	22,82	41,124	2,456
276,00	36,80	460	80,58	22,82	59,032	6,926
296,16	39,49	530	80,58	22,82	58,106	5,927
371,21	49,49	680	80,58	22,82	66,704	20,971
416,73	55,56	740	80,58	22,82	81,256	22,076
497,21	66,29	770	80,58	22,82	85,677	14,799
507,16	67,36	780	80,58	22,82	81,256	18,298
599,98	80,00	940	80,58	22,82	117,270	21,520
605,03	80,67	1040	80,58	22,82	107,022	33,471
634,74	84,90	1080	80,58	22,82	164,495	32,206
646,00	86,13	1100	80,58	22,82	161,406	40,353
660,79	88,11	1140	80,58	22,82	150,825	44,680



Gambar 7. Grafik daya masukan terhadap pembebanan

3.4. Analisis Daya Keluaran dan Efisiensi

Setelah rugi-rugi daya motor induksi didapatkan maka besarnya daya keluaran motor induksi juga bisa didapatkan. Daya keluaran merupakan hasil pengurangan dari daya masukan terhadap rugi-rugi. Besarnya daya keluaran dan efisiensi dihitung menggunakan Persamaan 9 dan 10 [5].

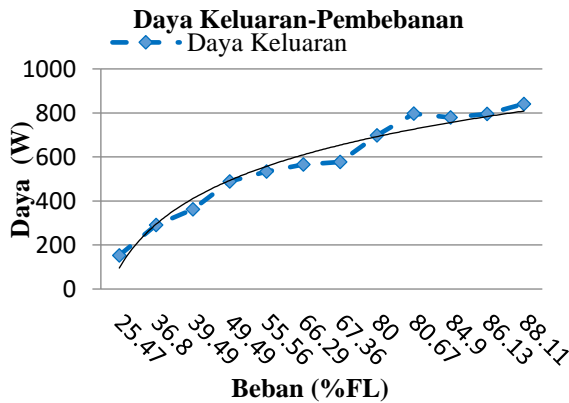
$$P_{Output} = P_{input} - P_{losses}$$

$$\eta = \frac{P_{Output}}{P_{input}} \times 100\% \tag{9}$$

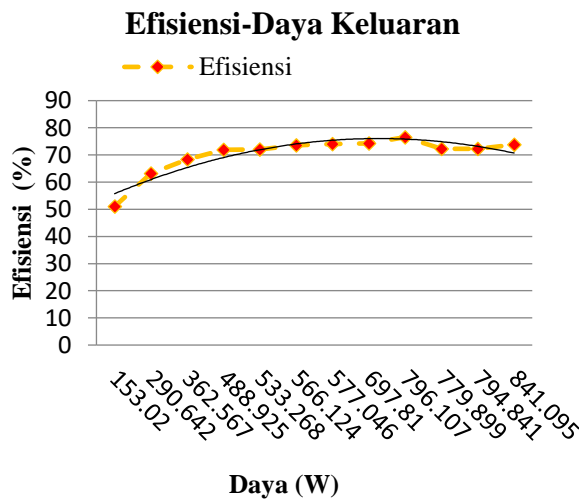
Tabel 8. Hasil perhitungan daya keluaran dan efisiensi

Beban (W)	Beban (%FL)	Daya Masukan (W)	Daya Keluaran (W)	Efisiensi (%)
191,02	25,47	300	153,02	51,01
276,00	36,80	460	290,642	63,18
296,16	39,49	530	362,567	68,41
371,21	49,49	680	488,925	71,90
416,73	55,56	740	533,268	72,06
497,21	66,29	770	566,124	73,52
507,16	67,36	780	577,046	73,98
599,98	80,00	940	697,810	74,24
605,03	80,67	1040	796,107	76,55
634,74	84,90	1080	779,107	72,21
646,00	86,13	1100	794,841	72,26
660,79	88,11	1140	841,095	73,78

Daya keluaran terkecil didapatkan ketika pembebanan 25,47 % sebesar 153,02 W. Daya keluaran terbesar didapatkan ketika pembebanan 88,11 % yaitu sebesar 841,095W. Kemudian efisiensi juga meningkat, walaupun tidak signifikan. Besarnya efisiensi terendah didapatkan ketika pembebanan 25,47 % beban penuh yaitu sebesar 51,01 %. Sedangkan efisiensi tertinggi didapatkan ketika pembebanan 80,67 % beban penuh yaitu sebesar 76,55 %.



Gambar 8. Grafik daya keluaran terhadap pembebanan



Gambar 9. Grafik efisiensi terhadap pembebanan

Gambar 8 dan 9 menunjukkan bahwa daya keluaran dan efisiensi meningkat sebanding dengan pembebanan yang meningkat. Hal ini menunjukkan pembebanan *prony brake* ini masih bisa diterima oleh motor dikarenakan respon motor yang cukup baik dalam menghasilkan daya keluaran. Efisiensi yang dihasilkan dalam pembebanan ini berada disekitar 50 – 77 %.

3.5. Analisis Torsi Motor Induksi

Setelah daya keluaran motor induksi didapatkan maka besarnya torsi keluaran motor induksi bisa didapatkan. Torsi motor induksi merupakan hasil perkalian antara daya dan konstanta 9,55, lalu dibagi dengan kecepatan

putar motor seperti pada Persamaan 11 dan 12 [5]. Nilai torsi beban dan motor pasti akan berbeda. Hal ini dipengaruhi nilai rasio konversi yang diakibatkan rugi-rugi torsi karena gesekan yang terjadi pada *pulley*.

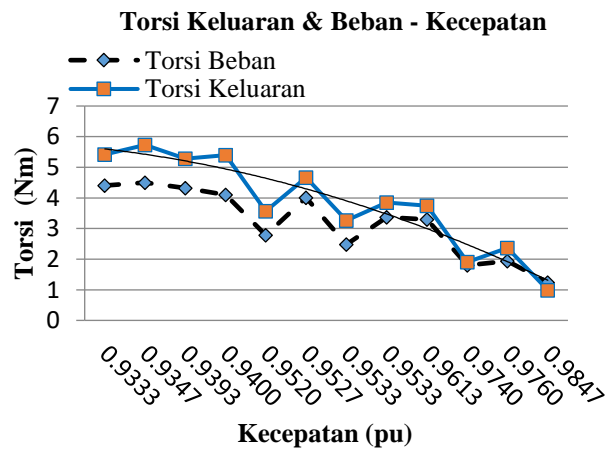
$$T_{load} = \frac{9,55 P_{load}}{n_m} \quad (11)$$

$$T_{output} = \frac{9,55 P_{output}}{n_m} \quad (12)$$

Berdasarkan Tabel 9, torsi keluaran motor meningkat cukup signifikan sebanding dengan peningkatan bebannya. Torsi keluaran terkecil sebesar 0,9894 Nm ketika pembebanan 25,47 % beban penuhnya. Sedangkan, torsi keluaran terbesar didapatkan ketika pembebanan 88,11 % yaitu sebesar 5,7293 Nm. Torsi yang meningkat membuat nilai kecepatan motor semakin menurun. Ketika torsi terbesar tercapai, kecepatan motor hanya 1402 rpm. Sedangkan ketika torsi terendah tercapai, nilai kecepatannya sebesar 1477 rpm.

Tabel 9. Hasil perhitungan torsi beban dan motor

Beban (W)	Beban (%FL)	Kec. Putar (rpm)	Daya Keluaran (W)	Torsi Beban (Nm)	Torsi Keluaran (Nm)
191,02	25,47	1477	153,02	1,2351	0,9894
276,00	36,80	1461	290,642	1,8041	1,8998
296,16	39,49	1464	362,567	1,9319	2,3651
371,21	49,49	1430	488,925	2,4791	3,2652
416,73	55,56	1428	533,268	2,7870	3,5663
497,21	66,29	1442	566,124	3,2929	3,7493
507,16	67,36	1430	577,046	3,3736	3,8537
599,98	80,00	1429	697,810	4,0097	4,6635
605,03	80,67	1410	796,107	4,0979	5,3921
634,74	84,90	1409	779,107	4,3157	5,2860
646,00	86,13	1400	794,841	4,4066	5,4220
660,79	88,11	1402	841,095	4,5011	5,7293



Gambar 10. Grafik torsi beban dan keluaran terhadap kecepatan

Gambar 10 menunjukkan bahwa torsi keluaran dan torsi beban sama-sama menurun sebanding dengan penurunan

kecepatan. Nilai torsi keluaran umumnya selalu lebih besar dibandingkan torsi beban. Hal ini dikarenakan adanya rugi-rugi gesekan pada *pulley*.

3.6. Analisis Diagram Lingkaran

Data-data yang diperlukan untuk membuat diagram lingkaran motor induksi ini diperoleh dari percobaan beban nol dan percobaan rotor tertahan [11]. Diagram lingkaran yang sudah dibuat dapat dilihat pada Gambar 11. Untuk menggambarinya perlu diketahui besarnya arus beban nol ($I_0 \angle \Phi_0$), arus hubung singkat ($I_1 \angle \Phi_{LR}$) dan daya hubung singkat nominalnya (P_1).

Selanjutnya adalah membuat vektor arus tersebut dengan menentukan skala arus (contohnya $1A = 2 \text{ cm}$). Vektor arus beban nol (\hat{I}_0) ini dibuat dari titik $O - O'$ dan vektor arus \hat{I}_1 dibuat dari titik $O - A$. Besarnya skala daya dapat ditentukan dengan cara membagi besarnya daya hubung singkat nominal (P_1) dengan panjang garis AB.

$$\text{garis } O - O'(\hat{I}_0) = \frac{0.99}{0.5} \angle 13.59^\circ = 1.98 \angle 13.59^\circ \text{cm}$$

$$\text{garis } O - A(\hat{I}_1) = \frac{8.565}{0.5} \angle 41.67^\circ = 17.13 \angle 41.67^\circ \text{cm}$$

$$\text{skala daya} = \frac{4211,07}{12,796} = 329,09 \text{ Watt/cm}$$

Posisi titik E ini menentukan proporsi besarnya garis AE dan EF dikarenakan AF juga merupakan jumlah rugi tembaga pada stator dan rotor.

$$\begin{aligned} \text{rugi tembaga stator (EF)} &= 3 \times 1,713^2 \times 12,20 \\ &= 107,75 \text{ Watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{rugi tembaga rotor (AE)} &= 161 - 107,75 \\ &= 53,25 \text{ Watt} \end{aligned}$$

$$\frac{AE}{EF} = \frac{53,25}{107,75} \times (12,324 \text{ cm}) = \frac{6,088 \text{ cm}}{6,236 \text{ cm}}$$

Besarnya slip dan efisiensi (η) juga dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\text{slip} = MN/LN = 0,175/2,454 = 0,071$$

$$\% \eta = (LM/LK) \times 100\%$$

$$= (2,279/3,105) \times 100 = 73,4 \%$$

Torsi maksimum (*pull-out torque*) motor induksi juga dapat ditentukan dari diagram ini. Caranya adalah membuat garis vertikal dari titik P ke garis torsi dan titik ini dinotasikan titik Q dan Garis PQ ini disebut garis torsi maksimum = $6,941 \text{ cm} \times 329,09 = 2284,21 \text{ synchW}$.

$$\text{Torsi maksimum} = 2284,21 \times \frac{9,55}{1500} = 14,54 \text{ Nm}$$

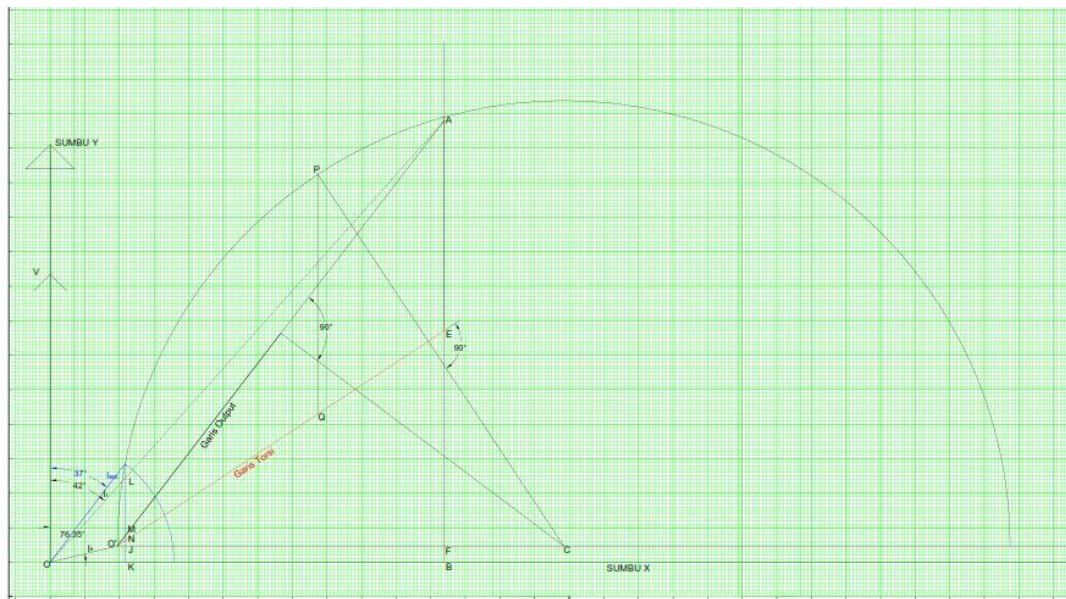
Hasil pengukuran panjang garis LK, LM, JK, MN, JN, dan LN pada *software* AutoCad untuk data lainnya dapat dilihat pada Tabel 10 dan perhitungan analisis diagram lingkarannya dapat dilihat pada Tabel 11

Tabel 10. Hasil pengukuran parameter diagram lingkaran

Arus OL (cm)	LK (cm)	LM (cm)	JK (cm)	MN (cm)	JN (cm)	LN-JN (cm)
2.12	0,835	0,3564	0,472	0,0034	0,0034	0,3597
2.54	1,5773	1,0434	0,472	0,0306	0,0313	1,074
2.52	1,548	1,0174	0,472	0,029	0,0297	1,0464
2.7	1,8004	1,2389	0,472	0,0442	0,0453	1,2831
2.98	2,1588	1,5423	0,472	0,0714	0,0731	1,6137
3.06	2,2559	1,6222	0,472	0,0799	0,0818	1,7021
2.98	2,1588	1,5423	0,472	0,0714	0,0731	1,6137
3.58	2,851	2,091	0,472	0,142	0,143	2,233
3.42	3,6538	2,6618	0,472	0,2569	0,2631	2,9187
4.24	2,6735	1,9546	0,472	0,122	0,1249	2,0766
4.2	3,5513	2,5927	0,472	0,2404	0,2462	2,8331
4	3,1964	2,3448	0,472	0,1875	0,1921	2,5323

Tabel 11. Hasil perhitungan analisis diagram lingkaran

P_{input} (W)	P_{output} (W)	$P_{fixloss}$ (W)	P_{fr} (W)	P_{ts} (W)	T_{output} (Nm)	η (%)
274,79	117,29	155,33	1,119	1,119	0,754	42,683
499,33	343,37	155,33	10,070	10,301	2,250	68,767
509,43	334,82	155,33	9,544	9,774	2,192	65,724
592,49	407,71	155,33	14,546	14,908	2,688	68,812
710,44	507,56	155,33	23,497	24,056	3,381	71,442
742,39	533,85	155,33	26,294	26,920	3,566	71,909
744,34	540,46	155,33	23,497	24,056	3,381	72,610
938,24	688,13	155,33	46,731	47,060	4,679	73,343
1051,90	875,97	155,33	84,543	86,584	6,115	83,275
1077,28	807,78	155,33	40,149	41,103	4,351	74,984
1168,70	853,23	155,33	79,113	81,022	5,936	73,007
1202,43	844,05	155,33	28,795	63,218	5,306	70,195



Gambar 11. Diagram Lingkaran Motor Tatung D80M 0,75 kW

4. Kesimpulan

Modul pembebanan *prony brake* motor induksi 3 fasa telah dirancang dan dapat berjalan dengan baik. Dari hasil percobaan, *prony brake* mampu memberikan pembebanan dari 191,02 W (25,47% beban penuh) hingga mencapai 660,79 W (88,11% beban penuh). Nilai torsi keluaran terkecil sebesar 0,9893 Nm. Torsi keluaran terbesarnya adalah 5,7293 Nm ketika pembebanan 88,11 %. Sedangkan efisiensi terkecilnya adalah 51 % ketika pembebanan 25,47 % beban penuh. Kemudian, efisiensi terbesarnya adalah 76,55 % ketika pembebanan 80,67 % beban penuh.

Urutan rugi-rugi yang paling berpengaruh dalam pengurangan efisiensi motor induksi berturut-turut adalah rugi-rugi tembaga stator sebesar 164,495 W, rugi-rugi inti 80,58 W, rugi-rugi tembaga rotor 44,68 W, dan rugi-rugi karena angin dan gesekan sebesar 22,82 W. Pengembangan dapat dilakukan dengan melakukan perbandingan pembebanan *prony brake* dengan jenis lainnya, misalnya generator listrik dengan kemampuan yang sama sehingga dapat diketahui perbedaan pembebanan secara mekanik dan listrik. Bisa juga melakukan simulasi atau pemodelan dengan software misalnya Simulink untuk membandingkan antara hasil simulasi dan keadaan sesungguhnya.

Referensi

- [1]. R M.H. Pradipta, "Pengereman Dinamis Konvensional Pada Motor Induksi Tiga Fasa" *TRANSIENT*, vol. 3, no. 4, hal. 009-015, Des, 2014.
- [2]. R.A. Ghazali, "Metode Perhitungan Efisiensi Motor Induksi yang Sedang Beroperasi," Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia, 2011.
- [3]. *IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators*, IEEE Standard 112, 2004.
- [4]. D. Cardenas, K. Goldvarg, dan C. Moreno, "Dynamometer Test Stand For Aircraft Air Turbine Starter Testing," Tesis, Dept. Mech. and Materials Eng., Florida International University, Florida, United States, 2015.
- [5]. T. Wildi, "Three-Phase Induction Motor" dalam *Electrical Machines, Drives, and Power System*, New Jersey : Prentice Hall Inc, 2002.
- [6]. A.E. Fitzgerald, C. Kingsley Jr, dan S.D. Umans, "Polyphase Induction Machine" dalam *Electric Machinery*, 6th Ed, United States : Mc. Graw Hill, 2003.
- [7]. Suyamto, *Analisa Daya dan Torsi Pada Motor Induksi*, STTN, hal. 205-212, Nov, 2009.
- [8]. Jayadi, "Analisis Nilai Efisiensi Motor Induksi Dengan Diagram Lingkaran," *JIMAH*, vol. 1, no. 1, hal. 006-012, April, 2012.
- [9]. A.N. Khaeri, "Analisis Diagram Lingkaran Pada Belitan Single Layer dan Analisis Steady State Pada Belitan Double Layer Lap Winding Motor Induksi Tiga Fasa," Tugas Akhir, Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia, 2006.
- [10]. B.L. Theraja dan A.K. Theraja, "Induction Motor" dalam *Electrical Technology*, Vol II, United States : S. Chand, 2000.
- [11]. M. Wijaya, "Mesin Induksi" dalam *Dasar – Dasar Mesin Listrik*, Jakarta : Djambatan, 2001.
- [12]. J.E. Shigley, "Machine Element" dalam *Mechanical Engineering Design*, 4th Ed, United States : Mc. Graw Hill, 1983.