

Analisis Efisiensi Daya dan Efisiensi Thermal Losses Pada Pemodelan Motor Induksi 24 kW

Ade Sana Ruhiyat
Teknik Elektro, Universitas Ibn
Khalidun, Jl. Sholeh Iskandar,
Bogor
email :
adesana.sana7@gmail.com

Anwar Hidayat
Teknik Elektro, Universitas Ibn
Khalidun, Jl. Sholeh Iskandar,
Bogor
email :
anwarhidayat9d@gmail.com

Harfiq Elnanda
Teknik Elektro, Universitas Ibn
Khalidun, Jl. Sholeh Iskandar,
Bogor
email :
harfiq.el@gmail.com

Abstract – Penggunaan generator sebagai pembangkit listrik prinsipnya memanfaatkan kerja dari motor induksi. Dalam perancangan generator perangkat lunak dapat membantu memodelkan bentuk, desain dan ukurannya untuk mendapatkan keluaran yang paling efisien. Motor listrik dengan efisiensi dan faktor daya yang rendah akan meningkatkan pemborosan energi listrik. Pada Penelitian ini perhitungan empiris dilakukan terhadap parameter rotor dan stator dengan memvariasikan jumlah slot yaitu 3, 4 dan 6. Sedangkan jumlah pole 4, 6 dan 8. Kemudian hasil perhitungan dimasukan kedalam perangkat lunak Simcenter Motorsolve. Data dihasil simulasi diolah untuk dibandingkan variasi pemodelan yang paling efisien. Tujuan penelitian ini adalah untuk memperoleh nilai efisiensi optimal dan nilai efisiensi thermal losses dari masing-masing pemodelan. Hasil penelitian menunjukan jumlah slot yang paling sedikit menghasilkan efisiensi tertinggi sebesar 96.8% dan jumlah slot terbanyak kehilangan daya paling sedikit akibat kenaikan temperatur sebesar 0.0712 kW. Jumlah slot berhubungan dengan jumlah kutub yang mempengaruhi momen inersia putaran motor. Makin besar jumlah kutub akan mengakibatkan makin kecilnya kecepatan putar medan stator. Sedangkan Jumlah slot yang lebih banyak maka akan mengurangi jumlah lilitan sehingga meningkatkan ketahanan terhadap kenaikan suhu.

Keywords: Generator, Motor Induksi, Slot, Pole, Efisiensi Energi

I. LATAR BELAKANG

Penggunaan generator sebagai pembangkit listrik pada prinsipnya memanfaatkan kinerja dari motor induksi. Secara umum generator adalah mesin yang dapat mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Industri saat ini umumnya menggunakan motor induksi tiga fasa sebagai alat kerja utama dalam proses produksi. Motor induksi merupakan motor jenis *alternatif current* yang bekerja berdasarkan induksi medan magnet antara rotor dan stator. Motor ini dianggap kuat dan sederhana sehingga murah dalam biaya operasional dan mudah dalam perawatan [1]. Pada pegerasiannya motor induksi digerakan oleh

sumber energi listrik sehingga berkontribusi pada peningkatan konsumsi listrik dunia sebesar 90% dari total 69% konsumsi motor listrik [2]. Motor listrik dengan efisiensi dan faktor daya yang rendah akan meningkatkan pemborosan energi listrik yang berakibat terhadap krisis energi dunia [3].

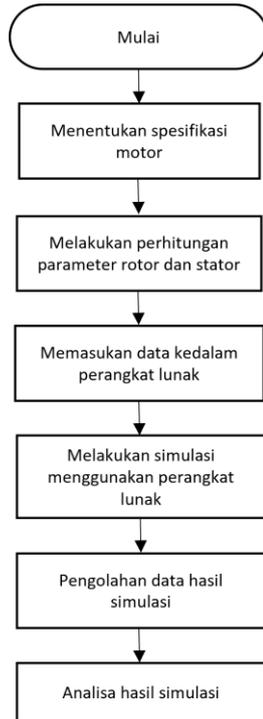
Semakin berkembangnya teknologi dalam merancang bentuk, desain, ukuran dan material generator tidak dapat dipisahkan dari adanya alat bantu berupa perangkat lunak untuk memodelkan dan mendesain mesin-mesin listrik sebelum diimplementasikan. Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan untuk menghasilkan keluaran data generator yang optimal menggunakan perangkat lunak. Analisa variasi slot dan pole terhadap tegangan dan efisiensi daya dilakukan oleh [4], geometri model PM generator sinkron 12 slot 8 pole $\frac{1}{4}$ model [5], dan optimalisasi jumlah slot rotor [3]. Pada penelitian ini dilakukan optimasi parameter rotor dan stator dengan memvariasikan jumlah slot dan jumlah pole dengan daya yang sama menggunakan perangkat lunak, sehingga diperoleh nilai efisiensi optimal dan nilai efisiensi *thermal losses*.

II. METODE PENELITIAN

Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan melakukan perhitungan empiris terhadap parameter rotor dan stator dengan memvariasikan jumlah slot dan jumlah pole. Kemudian hasil perhitungan dimasukan kedalam perangkat lunak Simcenter Motorsolve software by siemens untuk dilakukan pemodelan. Spesifikasi motor yang digunakan ditampilkan pada tabel 1. Setelah spesifikasi motor ditentukan, selanjutnya melakukan perhitungan parameter motor dan stator dengan rumusan empiris. Pada pemodelan ini, diujikan 3 variasi slot dan pole dengan jumlah slot yang divariasikan yaitu 3 slot dan 4 pole (D1), 4 slot dan 6 pole (D2), 6 slot dan 8 Pole (D3). Data yang dihasilkan dari variasi pemodelan kemudian dibandingkan sehingga didapatkan jumlah slot dan pole yang efisien terhadap daya dan *thermal losses*.

Tabel 1. Spesifikasi Motor

Parameter	Spesifikasi
Daya	24 kW
Phase	3
Supply type	Voltage Driver
Supply voltage	380 V
Synchronous speed	3000 rpm
Slip	1.3 %



Gambar 1 Diagram alir penelitian

Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk menghitung parameter-parameter yang digunakan pada pemodelan.

Diameter dan panjang stator dihitung [6].

$$Q = C_0 D^2 L n_s$$

$$C_0 = 11 K_w B_{av} a c \times 10^{-3}$$

Keterangan persamaan :

Q = Keluaran mekanik (Kw)
 C_0 = Koefisien keluaran
 D = Diameter dalam stator
 L = Panjang besi rotor dan stator (m)
 n_s = Kecepatan sinkron (rps)
 K_w = Faktor lilitan stator
 B_{av} = Spesific magnetic loading
 ac = Spesific magnetic loading

Perbandingan diameter dalam stator dan panjang besi rotor pada stator [7] [8].

$$\frac{L}{rP}$$

Keterangan persamaan :

P = Jumlah pole
 r_p = Pole pitch

Perhitungan diameter luar stator [6].

$$D_0 = D + 2d_{cs} + 2d_s$$

Keterangan persamaan :

d_{cs} = Lebar inti stator (black iron)(m)
 d_s = Kedalaman slot (m)
 D_0 = Diameter luar

Perhitungan air gap dan diameter luar rotor [6].

$$\delta_0 = 0.2 + 2\sqrt{D.L}$$

$$D_r = D - 2\delta_0$$

Keterangan persamaan :

D_r = Diameter luar rotor (m)
 δ_0 = Lebar air gap (mm) deangan D dan L (m)

Perhitungan jumlah slot rotor dan stator [6].

$$S_r = q_1 \times P \times fasa$$

Keterangan persamaan :

S_r = Jumlah slot rotor
 S_s = Jumlah slot stator
 q_1 = Jumlah slot per kutub per fasa
 P = Jumlah pole

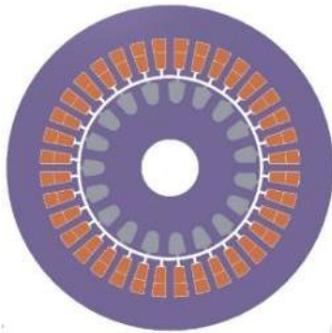
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 2 menunjukkan perbandingan nilai dari setiap parameter hasil perhitungan yang dimasukkan kedalam perangkat lunak MotorSolve. Pemodelan dengan nilai diameter dan panjang stator, dan diameter luar rotor terbesar adalah variasi D3 sedangkan paling kecil adalah D1. Parameter ini akan berpengaruh pada momen inersia putaran motor [9]. Skala motor induksi berbanding terbalik dengan kecepatan sinkron motor, semakin tinggi putaran sinkron maka semakin kecil ukuran motor tersebut. Ukuran diameter dan panjang motor akan berdampak terhadap efisiensi dan faktor daya dari motor induksi [7] [8]. Nilai celah udara pada masing-masing variasi adalah sama. Celah udara berhubungan dengan fluks magnetik yang dipengaruhi oleh jarak antara rotor dan stator, semakin sedikit jaraknya maka medan magnetnya menjadi rapat dan intensif [10]. Jumlah slot rotor masing-masing adalah 36, 74 dan 144 nilai ini berdasarkan pada hasil perhitungan antara slot, jumlah pole dan jumlah slot per kutub setiap fasa.

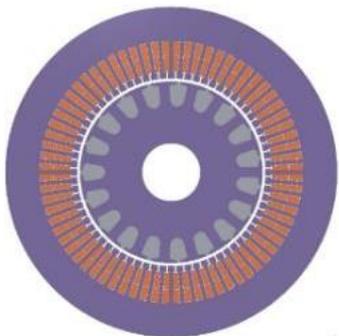
Tabel 2. Perbandingan nilai setiap pemodelan (mm)

Parameter	Pemodelan		
	D1	D2	D3
Diameter dalam dan panjang stator	187	201	243
Perbandingan diameter dalam stator dan panjang besi kotor pada stator	0.244	0.129	0.154
Perhitungan diameter luar stator	329	355	431
Perhitungan air gap	3.1	3.1	3.1
Perhitungan diameter luar rotor	181	195	237
Perhitungan jumlah slot rotor dan stator	36	72	144

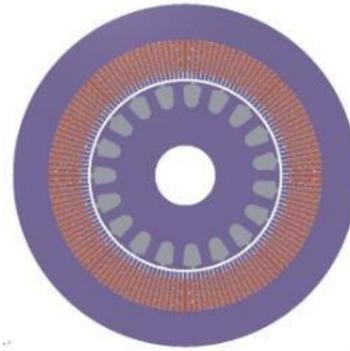
Gambar 2 menunjukkan perbedaan slot antar variasi. Slot adalah tempat kumparan dililitkan pada inti stator, dan semakin banyak slot, semakin banyak kumparan pada intistator. Pada rangka stator, kumparan stator ditempatkan pada slot-slot dan dililitkan dengan jumlah kutub tertentu. Jumlah kutub menentukan kecepatan di mana medan magnet stator yang diinduksi dalam rotor berputar. Semakin banyak jumlah kutub, semakin kecil kecepatan medan magnet stator, dan sebaliknya [11].



(a)



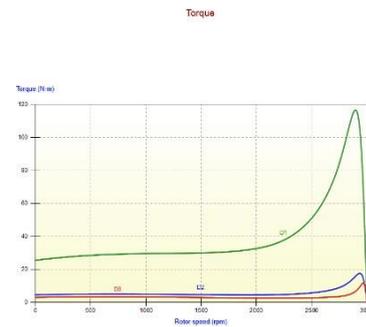
(b)



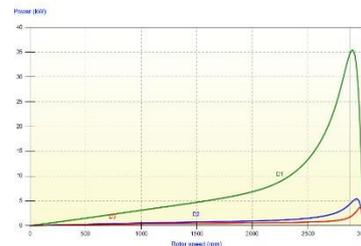
(c)

Gambar 2 (a) desain pemodelan D1, (b) desain pemodelan D2, (c) desain pemodelan D3

Gambar 3 menunjukkan torsi awal pada masing-masing pemodelan, pada variasi D1 torsi yang didapatkan adalah 28.7 N.m, D2 6.05 N.m dan D3 4.57 N.m. Sedangkan pada nilai maksimum torsi yang dihasilkan pada tegangan dan kecepatan pengenal secara berturut adalah 117 N.m, 17.5 N.m, dan 1.29 N.m nilai ini berdasarkan pengujian tanpa beban. Secara umum torsi merupakan kemampuan motor untuk menerima beban, maka torsi akan dipengaruhi oleh nilai beban. Perubahan beban akan mempengaruhi kecepatan putaran motor sehingga torsi motor akan menyesuaikan dengan torsi beban

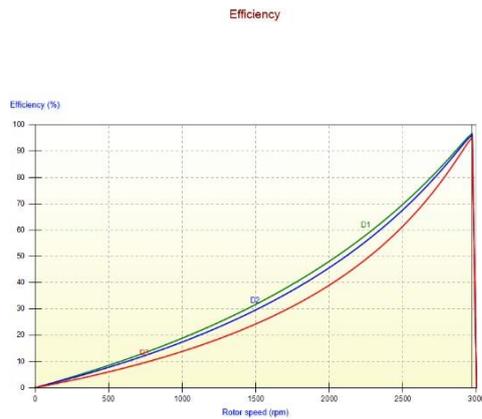


Gambar 3 Grafik karakteristik torsi motor



Gambar 4 Grafik karakteristik daya keluaran motor

Gambar 4 menunjukkan perbandingan karakteristik daya keluaran dari masing-masing variasi pemodelan. Variasi D1 menunjukkan nilai daya keluaran motor tertinggi yaitu 24 kW pada kecepatan motor 2751 rpm. Pada variasi D2 dan D3 secara berturut-turut nilai daya keluaran 2.44 kW dan 0.302 kW pada kecepatan yang sama. Daya keluaran motor dipengaruhi oleh jumlah slot rotor [11]. Secara umum slot berbanding terbalik dengan belitan, maka daya keluaran dapat diperbesar dengan memperkecil jumlah slot dan menambah jumlah lilitan [12].



Gambar 5 Grafik perbandingan efisiensi

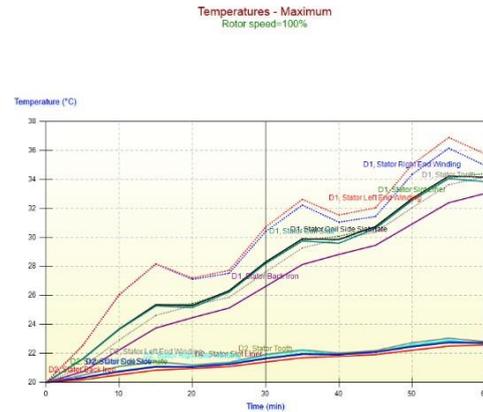
Gambar 5 menunjukkan perubahan karakteristik efisiensi dari setiap variasi pemodelan. Efisiensi yang dihasilkan menunjukkan nilai yang tidak signifikan berbeda. Efisiensi tertinggi sebesar 96,8% diperoleh oleh variasi D1 selanjutnya variasi D2 dan D3 dengan nilai 96.1% dan 95.1 % pada kecepatan motor yang sama sebesar 2970 rpm. Efisiensi ini akan berdampak pada rugi-rugi daya, semakin besar rugi-rugi daya maka semakin kecil efisiensi yang di dapat sehingga penggunaan daya menjadi lebih banyak [13].

Tabel 2. Losses thermal analisis (kW)

Parameter	Pemodelan		
	D1	D2	D3
Loss-Total	0.901	0.214	0.0712
Loss-Winding	0.47	0.11	0.0305
Loss- Rotor cage	0.317	0.0638	0.0166
Loss- Iron	0.114	0.0402	0.0241
Loss - Stator back iron	0.0684	0.0177	0.00788
Loss – teeth	0.045	0.0224	0.0162

Analisis kerugian total termal ditunjukkan pada gambar 5. Kerugian total termal pada kecepatan motor 100% menunjukkan bahwa variasi D1 merupakan yang paling banyak kehilangan daya sebesar 0.901 kW dan yang paling rendah adalah variasi D3 sebesar 0.0712 kW. Analisis termal berhubungan dengan arus lebih atau *over current*, yaitu gangguan arus yang mengalir pada rangkaian melebihi arus normal pada saat motor

diberi beban penuh atau Full Load Amps (FLA). Arus nominal merupakan nilai maksimum dari arus normal yang dapat diterima motor tanpa mengalami gangguan. Sedangkan peningkatan suhu didefinisikan sebagai kenaikan suhu diatas suhu ruangan atau ambient temperatur [14].



Gambar 6 Karakteristik suhu stator

Pada motor induksi, panas yang timbul umumnya disebabkan oleh rugi-rugi yang terjadi pada sistem yang ada. Sumber panas primer adalah akibat dari rugi-rugi konduktor kumparan stator dan rotor yang dialiri arus. Panas yang dihasilkan merupakan hasil perpindahan panas antara belitan rotor dan belitan stator melalui konduksi, konveksi atau radiasi. Pada stator terdapat belitan yang memiliki batas ketahanan terhadap suhu yang jauh lebih rendah dibandingkan pada rotor [15] [16]. Gambar 6 menunjukkan hasil simulasi suhu maksimum yang akan dicapai oleh komponen stator pada waktu 60 menit. Dalam waktu 60 menit komponen stator left and winding variasi D1 merupakan yang paling tinggi suhunya sebesar 35.8 °C. Sedangkan variasi D2 dan D3 adalah 22.7 °C dan 20.06 °C. Komponen back iron merupakan komponen yang paling rendah suhunya secara berturut-turut 33 °C, 22.6 °C, dan 20.01 °C. Kenaikan suhu umumnya terjadi secara singkat, hal ini dapat menyebabkan kerusakan isolasi belitan, kerusakan pada sambungan antar belitan konduktor dan menyebabkan kumpara stator terbakar.

IV. KESIMPULAN

Dari penelitian ini didapatkan bahwa variasi pemodelan D1 adalah yang paling efisien dibanding dengan variasi lain. Hasil simulasi menunjukkan nilai efisiensi mencapai 96.8% dengan nilai keluaran daya tertinggi sebesar 24 kW. Hal ini disebabkan oleh jumlah slot yang lebih sedikit sehingga jumlah lilitannya dapat diminimalkan dan mengakibatkan besarnya daya keluaran. Namun pada parameter thermal losses variasi D3 merupakan yang paling sedikit kehilangan daya akibat kenaikan suhu sebesar 0.0712 kW. Jumlah slot yang lebih banyak maka akan mengurangi jumlah lilitan sehingga meningkatkan ketahanan terhadap kenaikan suhu.

V. REFERENCES

- [1] T. Liu, Y. Zou, D. -x. Liu and F. -c. Sun, "Real-time control for a parallel hybrid electric vehicle based on Pontryagin's Minimum Principle," *2014 IEEE Conference and Expo Transportation Electrification Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific)*, Beijing, China, 2014, pp. 1-5, doi: 10.1109/ITEC-AP.2014.6941257.
- [2] V. K. Gupta, B. Tiwari, and B. Dewangan, "Efficiency optimization of induction motor drive: a review," *Int. J. Innov. Sci. Eng. Technol.*, vol. 2, no. 12, pp. 650–665, 2015.
- [3] Muhidin, "Optimalisasi Jumlah Slot Rotor Pada Desain Motor Induksi 100 Kw Tipe Rotor Belitan," *JUTEKS*, no. Vol 5, No 1 (2018), 2018.
- [4] M. Sumantri and S. Nuryadi, "Analisis Pengaruh Variasi Slot Dan Pole Terhadap Tegangan Dan Daya Output Pada Perancangan Generator Magnet Permanen Menggunakan Software Magnet." *University of Technology Yogyakarta*, 2019.
- [5] M. R. Hadisiswoyo, I. Arifianto, S. Rahmatia, and R. Elson, "Variasi Geometri Pemodelan PM Generator Sinkron 12 Slot 8 Pole ¼ Model," *Semin. Nas. Microw*, pp. 48–52, 2018.
- [6] A. K. Sawhney, *A Course in Electrical Machine Design*. Dhanpat Rai & Sons, 1984.
- [7] R. Prakash, M. J. Akhtar, R. K. Behera, and S. K. Parida, "Design of a three phase squirrel cage induction motor for electric propulsion system," *IFAC Proc. Vol.*, vol. 47, no. 1, pp. 801–806, 2014.
- [8] K. G. Upadhyay, *Design of electrical machines*. New Age International, 2011.
- [9] A. G. Yetgin, A. İ. Çanaköglü, A. Gün, M. Turan, and B. Cevher, "Effect of the Induction Motor Stator Outer/Inner Diameter Ratio on the Motor Performance." 2018
- [10] G. M. Zuhail, "Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya." Jakarta: Gramedia Pustaka Utama, 2000.
- [11] S. A. E. Sumawang, "Pengaruh Jumlah Slot pada Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) Terhadap Nilai Back EMF dan KE yang Berbasis Finite Element Method (FEM)," *TEKNIK*, vol. 43, no. 2, pp. 140–146.
- [12] W. P. Widyaningsih, "Perubahan Jumlah Alur Kumbaran Stator Dapat Meningkatkan Kapasitas Daya Keluaran Generator Sinkron Tiga Fasa," *Eksergi*, vol. 9, no. 1, 2016.
- [13] H. Sularto, "Analisis Rugi-rugi Daya Listrik Akibat Ketidak Seimbangan Tegangan Penyulang Pada Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Sangkar," *ELKHA J. Tek. Elektro*, vol. 4, no. 2, 2012.
- [14] Y. La Elo, "Simulasi Kontrol Motor Y-Δ Menggunakan Lampu Berbasis PLC." *Jurnal Informasi, Sains dan Teknologi* 3.1 (2020): 9-14.
- [15] C. A. Cezario, M. Verardi, S. S. Borges, J. C. Silva, and A. A. M. Oliveira, "Transient thermal analysis of an induction electric motor," in *18th International Congress of Mechanical Engineering*, 2005, pp. 10–11.
- [16] D. Zaenal, "Analisa Gangguan Stator Motor Induksi Fasa 3 Dengan Metode Current Signature Analisis Dan Monitoring Temperatur." *Journal Of Electrical Power* (2019).