

PENGARUH PERUBAHAN FREKUENSI TERHADAP KINERJA MOTOR COAL FEEDER DI CAPTIVE POWER PLANT

¹Adolf Asih Supriyanto, ¹Nanang Roni Wibowo, ²Rudi Setiawan

¹Teknologi Rekayasa Mekatronika, Politeknik Enjinering Indorama, Purwakarta

²CPP, PT. Indorama Tbk., Ubrug, Jatiluhur Purwakarta

¹e-mail: adolf@pei.ac.id

Abstrak

Motor induksi termasuk jenis motor AC yang bekerja akibat adanya arus stator yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar yang dihasilkan arus stator. Motor induksi dinamakan motor tak serempak (asynchronous) karena putaran poros motor tidak sama dengan putaran medan fluks magnet stator. Motor coal feeder merupakan motor induksi tiga phasa yang pengaturannya diatur oleh Variable Speed Drive (VSD). Motor coal feeder berfungsi sebagai media penyalur bahan bakar batubara menuju ruang bakar di boiler yang bertujuan untuk proses pembakaran dalam memanaskan air pada dinding pipa yang akan dijadikan uap penggerak turbin. Sebelum mensuplai batubara terlebih dahulu memperhatikan jumlah batubara yang masuk ke coal feeder, karena akan mempengaruhi aliran batubara dan kinerja motor. Semakin banyak batubara yang masuk ke coal feeder maka akan semakin besar aliran batubara, sama halnya dengan tingginya kecepatan motor akan memperbesar aliran batubara yang masuk ke furnace. Dari hasil penelitian diperoleh kecepatan motor coal feeder pada frekuensi 4Hz sebesar 115,2 rpm dengan, coal flow 17,16 t/h dan efisiensi 32,76 %.

Kata Kunci : Motor induksi tiga phasa, Variable Speed Drive, coal feeder

Abstract

Induction motor is an AC type motor that works due to the induced stator current as a result of the relative difference between the rotor rotation with the rotating field produced by the stator current. Induction motor is called asynchronous motor because the rotation of the motor shaft is not the same as the rotation of the stator magnetic field. Coal feeder motor is a three-phase induction motor whose speed regulation is regulated by 'Variable Speed Drive (VSD)'. The coal feeder motor functions as a conduit for the distribution of coal fuel into the combustion chamber in the boiler which aims to process the combustion in heating water in the wall tube which will be used as steam driving the turbine. Before supplying coal, pay attention first to the amount of coal entering the coal feeder, because it will affect coal flow and motor performance. The more coal that enters the coal feeder, the greater the flow of coal, as well as the high speed of the motor will increase the flow of coal into the furnace. From the research results, a frequency of 4 Hz obtained coal feedermotor speed at 115.2 rpm, with a coal flow of 17.16 t/h and efficiency of 32.76 %.

Keywords: Three-phase induction motor, Variable Speed Drive, coal feeder

1. PENDAHULUAN

Batubara sebagai sumber energi panas sering kali digunakan sebagai bahan bakar pembangkit listrik tenaga uap. *Captive Power Plant* (CPP) digolongkan sebagai pembangkit listrik tenaga uap yang mengandalkan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan energi listrik. Bentuk utama dari pembangkit listrik jenis ini adalah Generator yang sepertos dengan turbin yang digerakkan oleh tenaga kinetik dari uap panas/kering. Pembangkit listrik tenaga uap menggunakan berbagai macam bahan bakar terutama batu bara dan minyak bakar untuk *start up* awal.

Makalah dikirim 2 Juli 2023; Revisi 21 Juli 2023; Diterima 29 Juli 2023

*Pengaruh Perubahan Frekuensi terhadap Kinerja Motor Coal Feeder di Captive Power Plant PT. Indorama
Adolf Asih Supriyanto, Nanang Roni Wibowo, Rudi Setiawan*

Sistem pembakaran pada CPP untuk bahan bakar batubara dimulai dari *Coalyard*, batubara diangkut dengan *belt conveyor* dan disimpan di dalam *coal bunker* setelah itu menuju *coal feeder* dan *combustion burner*. Pada CPP Indorama terdapat rangkaian *belt conveyor* mulai dari *Coal Yard* sampai ke *furnace* untuk menyalurkan bahan bakar pada *boiler*. Namun, salah satu *belt conveyor* yang dapat diatur kecepatannya menggunakan *Variable Speed Drive (VSD)* dalam mensuplai batubara yaitu *coal feeder*. Besarnya aliran batubara yang disuplai ke ruang bakar diatur oleh *coal feeder*, sehingga diperlukan pengaturan kecepatan motor.

Coal Feeder berfungsi untuk menerima batu bara dari silo dan mengontrol jumlah batu bara yang dimasukan ke dalam *mill/pulverizer*. Proses *feeding* akan mengontrol laju bahan bakar yang masuk tergantung dari kebutuhan *boiler*, dan kemudian batu bara yang telah digerus bersama-sama dengan primari air akan dihembuskan menuju *burner*.

Sebelum mensuplai batubara terlebih dahulu memperhatikan jumlah batubara yang masuk ke *coal feeder*, karena akan mempengaruhi aliran batubara dan kinerja motor. Semakin banyak batubara yang masuk ke *coal feeder* maka akan semakin besar aliran batubara, sama halnya dengan tingginya kecepatan motor akan memperbesar aliran batubara yang masuk ke *furnace*.

Motor induksi adalah motor listrik arus bolak-balik (AC) yang putaran medan putar pada rotornya tidak sama dengan putaran medan putar pada stator, dengan kata lain putaran rotor dengan putaran medan pada stator terdapat selisih putaran yang disebut slip. Motor induksi merupakan motor arus bolak-balik yang paling banyak dipakai dalam dunia industri. Hal ini dikarenakan motor ini memiliki konstruksi yang kuat, sederhana serta membutuhkan perawatan yang tidak banyak. Selain itu motor juga memberikan efisiensi yang baik dan putaran yang konstan untuk tiap perubahan beban. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh kecepatan motor terhadap *coal flow* dan efisiensi motor induksi.

2. METODE PENELITIAN

Coal feeder seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 1 merupakan peralatan utama pada PLTU yang berfungsi mengatur laju aliran batu bara yang masuk ke *boiler*. *Coal feeder* bertugas mengatur banyak sedikitnya batu bara sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan, yakni besarnya daya yang ingin dibangkitkan dari suatu sistem PLTU.



Gambar 1. *Coal feeder*.

Salah satu komponen penting dalam *coal feeder* yaitu *belt conveyor*, dimana *belt* ini sebagai pembawa / pengangkut batubara yang didesain tahanpanas hingga 200°C dan dipasang secara horizontal untuk disuplai kedalam *boiler*. *Belt conveyor* dapat diatur kecepatannya

menggunakan *Variable Frequency Drive*. *Variable Frequency Drive* yang digunakan dalam *coal feeder* ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. *Variable Frequency Drive*.

Untuk mengukur laju aliran pada *coal feeder* (t/h), *coal feeder* memiliki 2 sensor, yakni sensor berat yang biasa disebut *load cell* dan sensor kecepatan (*speed sensor*). Sensor berat ditempatkan di tengah konveyor, sedangkan sensor kecepatan diletakkan pada motor penggerak konveyor. Motor untuk menggerakan konveyor ini ditunjukkan dalam Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. *Motor listrik penggerak konveyor*.

Motor induksi 3 fasa merupakan jenis motor listrik yang paling umum digunakan di industri dan aplikasi komersial. Prinsip kerja motor 3 fasa didasarkan pada prinsip elektromagnetik, di mana medan magnet yang dihasilkan oleh arus listrik yang mengalir melalui

tiga kumparan pada stator (bagian yang diam pada motor) memutar rotor (bagian yang berputar pada motor) yang terbuat dari bahan penghantar. Proses kerja motor 3 fasa terdiri dari beberapa tahap, yaitu:

- Arus listrik tiga fasa yang berasal dari sumber listrik masuk ke stator motor.
- Arus listrik pada tiga kumparan pada stator diatur secara bergantian sehingga medan magnetik yang dihasilkan di setiap kumparan juga bergantian.
- Medan magnetik yang dihasilkan pada stator menghasilkan medan putar yang berputar dengan kecepatan sinkron yang ditentukan oleh frekuensi dan jumlah kutub pada motor.
- Medan putar pada stator mendorong rotor untuk berputar sesuai dengan arah putaran medan putar pada stator.
- Arus listrik pada rotor yang dihasilkan oleh gerakan relatif antara medan magnetik stator dan rotor, menghasilkan medan magnetik pada rotor yang selalu berlawanan dengan medan magnetik stator. Hal ini menghasilkan gaya yang mendorong rotor terus berputar.

Motor 3 fasa memiliki keuntungan yaitu dapat menghasilkan daya yang lebih besar dibandingkan dengan motor satu fasa pada ukuran yang sama. Selain itu, motor 3 fasa juga lebih efisien dan lebih andal dalam jangka panjang. Oleh karena itu, motor 3 fasa banyak digunakan pada aplikasi yang memerlukan daya besar dan operasi yang stabil seperti pada penggerak mesin industri, pompa, kipas, dan sebagainya.

Rumus kecepatan stator dalam sistem motor induksi adalah:

$$n_s = \frac{120 \times f}{p} \quad (1)$$

dengan,

n_s adalah kecepatan sinkronous stator dalam rpm (rotasi per menit)

f adalah frekuensi input daya listrik dalam Hz (Hertz)

p adalah jumlah kutub pada stator

Rumus 1 di atas mengindikasikan bahwa kecepatan sinkronous stator bergantung pada frekuensi input daya listrik dan jumlah kutub pada stator. Kecepatan sinkronous adalah kecepatan ideal dari medan putar yang dihasilkan pada stator dari medan magnet yang dihasilkan pada rotor. Namun, karena adanya slip antara medan putar pada stator dan medan magnet pada rotor, kecepatan aktual rotor selalu lebih rendah daripada kecepatan sinkronous stator.

Putaran medan magnet stator ini akan diikuti oleh putaran rotor motor induksi. Makin berat beban motor, maka kecepatan rotor juga akan turun sehingga terjadi slip. Perbedaan kecepatan antara n_r dan n_s disebut slip (S) dinyatakan dengan :

$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\% \quad (2)$$

dengan,

n_s adalah kecepatan sinkronous stator dalam rpm (rotasi per menit)

n_r adalah kecepatan poros rotor

S adalah slip

Persamaan 2 dapat ditulis dalam bentuk:

$$n_r = n_s (1 - S) \quad (3)$$

Demikian pula, kecepatan sudut mekanik, ω_m , dapat dinyatakan dalam bentuk sudut kecepatan sinkron, ω_s dan slip seperti :

$$\omega_r = \omega_s (1 - S) \quad (4)$$

Dalam radian perdetik adalah:

$$\omega_r = \frac{2\pi n_r}{60} = \frac{2\pi n_s(1-S)}{60} \quad (5)$$

Perubahan frekuensi sumber pada motor induksi tiga phasa akan mempengaruhi besarnya impedansi kumparan motor karena kumparan motor induksi mengandung reaktansi induktif. Bila $n_r = n_s$ tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak mengalir pada kumparan jangkar rotor,

dengan demikian tidak dihasilkan kopel. Kopel motor ditimbulkan apabila n_r lebih kecil dari n_s . Dilihat dari cara kerjanya motor induksi disebut juga motor tak serempak atau asinkron.

Rumus daya motor induksi 3 fasa adalah:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \theta \quad (6)$$

dengan:

- P adalah daya yang dihasilkan oleh motor dalam watt (W)
- $\sqrt{3}$ adalah faktor pengali untuk sistem tiga fasa
- V adalah tegangan fase-fase dalam volt (V)
- I adalah arus fase dalam ampere (A)
- $\cos(\theta)$ adalah faktor daya (power factor) dari motor

Faktor daya, $\cos \theta$, menggambarkan sejauh mana motor efektif dalam mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Semakin tinggi faktor daya, semakin efisien motor dalam mengubah energi listrik menjadi energi mekanik.

Untuk menghitung daya motor secara akurat, kita harus mengukur tegangan dan arus pada ketiga fase dan menghitung rata-rata nilai dayanya. Selain itu, kita juga harus memperhitungkan efisiensi motor dan kehilangan daya akibat resistansi kabel, kehilangan magnetik, gesekan, dan faktor-faktor lainnya yang dapat mempengaruhi efisiensi motor.

Variable speed drive (VSD) atau sering disebut inverter merupakan perangkat elektronik yang digunakan untuk mengatur kecepatan putar motor listrik. Prinsip kerja VSD didasarkan pada konsep konversi arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC) melalui sebuah rangkaian penyearah (rectifier), kemudian konversi kembali menjadi arus bolak-balik dengan frekuensi dan tegangan yang dapat diatur melalui rangkaian inverter. Proses kerja VSD dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Arus listrik AC yang berasal dari sumber listrik masuk ke rangkaian penyearah pada VSD.
- Rangkaian penyearah mengubah arus listrik AC menjadi arus searah DC.
- Arus searah DC tersebut kemudian diatur dan diubah frekuensinya menjadi arus listrik AC yang dapat diatur frekuensinya melalui rangkaian inverter.
- Rangkaian inverter menghasilkan arus listrik AC dengan frekuensi dan tegangan yang dapat diatur sesuai dengan kebutuhan untuk menggerakkan motor listrik pada kecepatan yang diinginkan.
- Kecepatan putar motor listrik dapat diatur melalui pengaturan frekuensi dan tegangan output dari VSD, sehingga motor dapat berputar dengan kecepatan yang diinginkan.

Dalam penggunaan VSD pada aplikasi motor listrik, keuntungan yang diperoleh adalah dapat mengatur kecepatan putar motor sesuai dengan kebutuhan tanpa harus mengganti sistem penggerak motor. Hal ini memungkinkan penghematan energi, mengurangi keausan pada mesin, dan meningkatkan efisiensi pada sistem keseluruhan. Selain itu, penggunaan VSD pada aplikasi motor listrik juga memungkinkan penggunaan motor yang lebih kecil dan lebih hemat energi untuk menggantikan motor yang lebih besar yang digunakan pada sistem penggerak dengan kecepatan tetap.

Tegangan keluaran dari VSD berupa tegangan dan frekuensi yang bisa diatur sehingga disebut *Variable Voltage Variable Frequency* (VVVF). Persamaan menghitung efisiensi motor induksi:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (7)$$

dengan:

η = efisiensi motor induksi

P_{out} = daya output motor

P_{in} = daya input motor

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

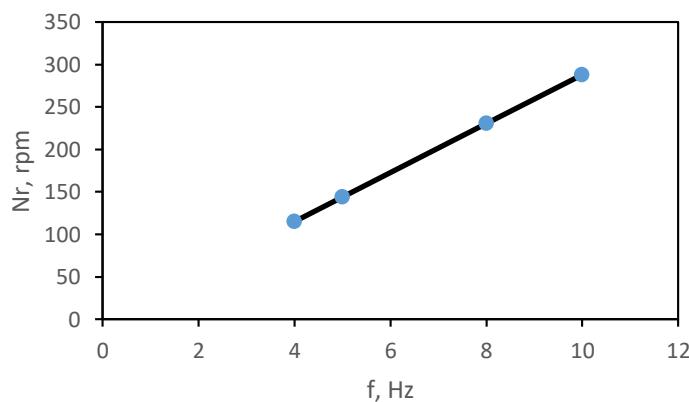
Pertama-tama pengujian dilakukan dengan menggunakan frekuensi 4 Hz dengan tegangan output inverter 36,8 V, arus 12,55 A dan faktor daya 0,363. Kemudian pengujian

dilakukan pada frekuensi berturut-turut 5, 8 dan 10 Hz. Hasil pengamatan dan perhitungan ditunjukkan dalam Tabel 1.

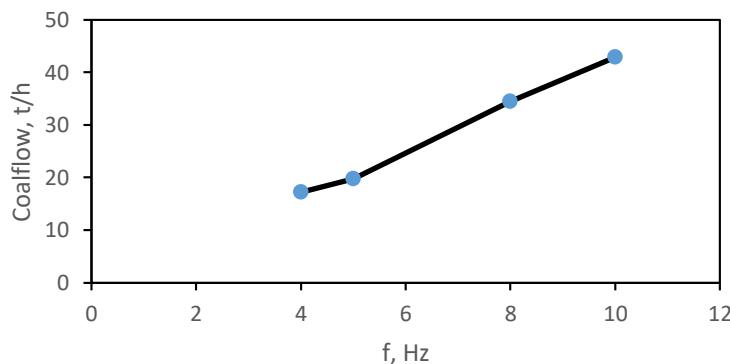
Tabel 1. Hasil pengamatan dan perhitungan.

No	f, Hz	Nr, rpm	Coalfow, t/h	Pin, W	Pout, W	η , %
1	4	115.2	17.16	290.37	95.13	32.76
2	5	144.0	19.70	287.30	100.67	35.00
3	8	230.4	34.50	309.76	128.58	41.54
4	10	288.0	42.90	323.83	135.08	41.70

Dari Tabel 1 di atas dapat dibuat beberapa grafik seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4 – 6 di bawah ini.

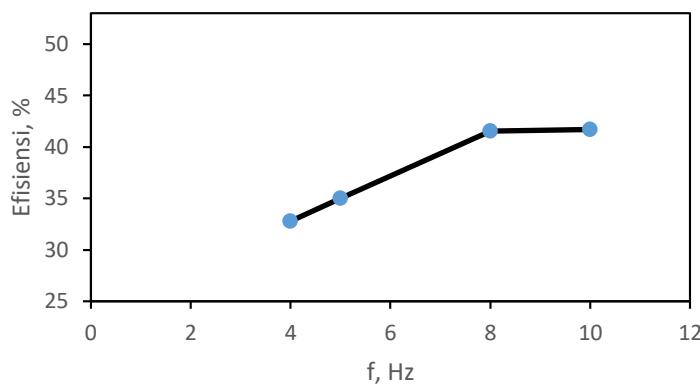


Gambar 4. Frekuensi terhadap kecepatan motor.



Gambar 5. Frekuensi terhadap loadflow.

Gambar 4 menunjukkan hubungan frekuensi terhadap kecapan motor. Semakin besar frekuensi yang digunakan maka semakin besar pula kecepatan motor secara linier. Gambar 5 merupakan hubungan frekuensi terhadap *loadflow*. Sama seperti pada Gambar 4, pada Gambar 2 juga menunjukkan hal yang sama. Semakin besar frekuensi maka semakin besar pula *loadflow*. Gambar 6 merupakan hubungan frekuensi terhadap efisiensi. Semakin besar frekuensi yang digunakan maka semakin besar efisiensi.



Gambar 6. Frekuensi terhadap efisiensi.

4. KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa semakin besar frekuensi yang digunakan, semakin besar pula kecepatan motor, *loadflow* dan efisiensi motor.

REFERENCE

- [1] Riza , Virdian, Endang, Pudji Widjajati, Erlina P, Purnamawati. 2016. "EVALUASI EFEKTIVITAS MESIN COAL FEEDER DENGAN PENERAPAN TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE (TPM) DI PT . PEMBANGKITAN JAWA BALI SERVICES PLTU PAITON UNIT IX. Prodi Teknik Industri FTI- UPN Veteran, Jawa Timur; pp. 35–49.
- [2] A. Khoiri. 2013. "Penentuan Kecepatan Sudut Motor Listrik Manual Dengan Variasi Kebutuhan Jumlah Lilitan Dan Tegangan Listrik," *J. Fis.*, vol. 3, no. 2, pp. 105–107.
- [3] A. Kurnia Pratama, E. Zondra, and H. Yuvendius. 2020. Analisis Efisiensi Motor Induksi Tiga Phasa Akibat Perubahan Tegangan. *J. Sain, Energi, Teknol. Ind.*, vol. 5, no. 1, pp. 35–43.
- [4] T. Rachman. 2018. ANALISIS PENGOPERASIAN COAL FEEDER TERHADAP KINERJA PEMBANGKIT PADA PT BOSOWA ENERGI PLTU JENEPOINTO EKSPANSI 2x135 MW," *Angew. Chemie Int. Ed.* 6(11), 951–952., pp. 10–27.
- [5] S. Putra, Arie Sukma, Setya Putra, Sukmadi, Tejo, Handoko. 2014. Analisa Daya Motor Induksi 3 Fasa Pada Operasi Intermittent Dengan Variasi Periode Pembebangan," *Transient*, vol. 3, no. 4.
- [6] D. Ramadhani and G. Putra. 2022. Analisis Optimalisasi Mesin Coal Feeder Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) PT PLN (Persero) UPK Nagan Raya," vol. 19, no. 2, pp. 357–365.
- [7] R. M. Olympia. 2021. Pengaruh Celah Antara Stator dan Rotor terhadap Performa Motor DC," *Sainteknol J. Sains dan Teknol.*, vol. 19, no. 1, pp. 11–15.
- [8] Theodore Wildi. 2017. Teori Motor Induksi Tiga Fasa Universitas Semarang," *Kementerian Pendidik. dan Kebud. Republik Indones.*, pp. 7–37.
- [9] R. A. Ghazali. 2011. Metode Perhitungan Efisiensi Motor Induksi Yang Sedang Beroperasi," *Univ. Indones.*