

EVALUASI KINERJA MOTOR *COAL FEEDER* DI PLTU TENAYAN RAYA TERHADAP PENGARUH PERUBAHAN FREKUENSI

Dedi Noviandri¹, Elvira Zondra², Atmam³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lancang Kuning
Jl. Yos Sudarso km. 8 Rumbai, Pekanbaru, Telp. (0761) 52324

Email: dedinoviandri90@gmail.com¹, elviraz@unilak.ac.id², atmam@unilak.ac.id³

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 (*asynchrone*) karena putaran poros motor tidak sama dengan putaran medan fluks magnet stator. Motor *coal feeder* merupakan motor induksi tiga fasa yang pengaturan kecepatannya 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 (*wall tube*) 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 4 Hz sebesar 115,2 rpm dengan torka induksi sebesar 7,89 Nm, *coal flow* 17,16 t/h dan efisiensi 32,76 % serta pada frekuensi 10 Hz kecepatan motor *coal feeder* sebesar 288 rpm dengan torka induksi sebesar 4,48 Nm, *coal flow* 42,9 t/h dan efisiensi 41,7 %.

Kata Kunci : Motor induksi tiga fasa, *Variable Speed Drive* (VSD), *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 pipe wall (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 feeder motor speed at 115.2 rpm, with an induction torque of 7.89 Nm, coal flow of 17.16 t/h and efficiency of 32.76 % and a frequency of 10 Hz obtained coal feeder motor speed of 288 rpm with induction torque of 4.48 Nm, coal flow of 42.9 t/h and efficiency of 41.7 %.

Keywords : *Three-phase induction motor, Variable Speed Drive (VSD), coal feeder*

1. PENDAHULUAN

Pada saat sekarang ini motor-motor listrik sudah banyak digunakan dalam berbagai kebutuhan dan keperluan, terutama dalam dunia industri. Motor listrik *Alternating Current* (AC) yang digunakan adalah motor induksi tiga fasa [1]. Karena motor ini mempunyai konstruksi yang sederhana, kokoh, perawatan yang mudah dan harga relatif lebih murah. Pada PLTU Tenayan Raya batubara adalah hal yang harus diperhatikan. Karena batubara merupakan sumber daya alam

yang dimanfaatkan untuk bahan bakar [2]. Dengan kata lain, kualitas batubara, jenis, ukuran serta aliran batubara yang masuk ke dalam *furnace* sangat mempengaruhi proses produksi [3].

Pada PLTU Tenayan Raya terdapat banyak jenis *belt conveyor* untuk mensuplai batubara, mulai dari kapal tongkang sampai ke *furnace* [4]. Namun, salah satu *belt conveyor* yang dapat diatur kecepatannya menggunakan *Variable Speed Drive* (VSD) dalam mensuplai batubara yaitu *coal feeder* [5]–[7]. Besarnya aliran batubara yang disuplai ke

ruang bakar diatur oleh *coal feeder*, sehingga diperlukan pengaturan kecepatan motor.

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*. Kapasitas aliran batubara di ketel sebesar 80 t/h [8]. Pada pengoperasiannya motor *coal feeder* ini dioperasikan dalam frekuensi 4 Hz, 5 Hz, 8 Hz dan 10 Hz. Frekuensi tersebut diatur sesuai dengan kebutuhan ketel yang memiliki kapasitas *coal flow* batubara 80 t/h dengan 4 motor *coal feeder* per unit pembangkit listrik. Jika aliran batubara melebihi dan kurang dari kapasitas aliran batubara di ketel akan mempengaruhi kinerja motor dan proses produksi.

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* [9]. Motor induksi merupakan motor arus bolak-balik yang paling banyak diaplikasikan 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 [10].

Prinsip Kerja Motor Induksi Tiga Fasa [11] :

1. Apabila sumber tegangan 3 fasa dipasang pada kumparan stator akan timbul medan putar dengan kecepatan [12] :

$$n_s = \frac{120 \cdot f}{p} \text{ rpm} \quad (1)$$

2. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor sehingga pada kumparan rotor timbul tegangan induksi (GGL Induksi).
3. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian tertutup, maka akan mengalir arus (I). Kawat penghantar (kumparan rotor) yang dialiri arus yang berada dalam medan magnet akan menimbulkan gaya (F) pada rotor.
4. Bila kopel mula yang dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk memikul kopel beban, maka rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.
5. Seperti halnya telah dijelaskan bahwa tegangan induksi akan timbul karena adanya terpotongnya batang konduktor (rotor) oleh medan putar stator. Artinya agar tegangan

terinduksi diperlukan adanya perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator (n_s) dan kecepatan medan putar rotor (n_r).

6. 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 [10] :

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

Persamaan 2 dapat juga ditulis [11] :

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

Demikian pula, kecepatan sudut mekanik ω_m dapat dinyatakan dalam bentuk sudut kecepatan sinkron ω_s dan *slip* seperti [11]:

$$\omega_m = (1 - s) \omega_s \quad (4)$$

Dalam radian perdetik adalah [9] :

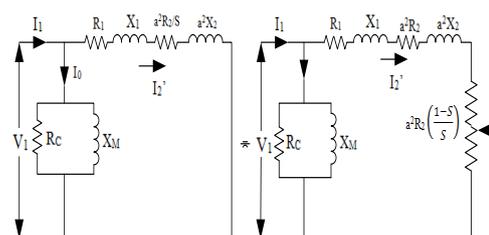
$$\omega_r = \frac{2\pi N_r}{60} = \frac{2\pi \{N_s(1-s)\}}{60} \quad (5)$$

Perubahan frekuensi sumber pada motor induksi tiga fasa akan mempengaruhi besarnya impedansi kumparan motor karena kumparan motor induksi mengandung reaktansi induktif.

7. 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 .
8. Dilihat dari cara kerjanya motor induksi disebut juga motor tak serempak atau asinkron.

Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi Tiga Fasa

Kerja motor induksi seperti juga kerja pada transformator adalah berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Oleh karena itu motor induksi dapat dianggap sebagai transformator dengan rangkaian sekunder yang berputar. Hingga rangkaian motor induksi seperti Gambar 1.

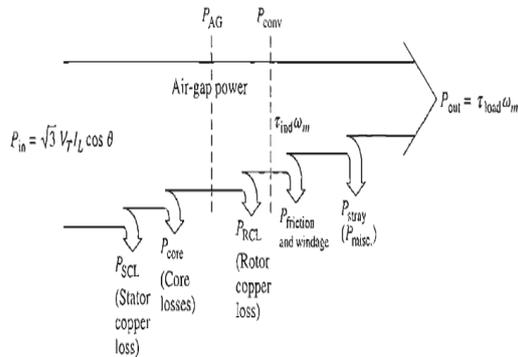


Gambar 1. Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi Tiga Fasa [12].

Daya Motor Induksi Tiga Fasa

Dengan memperhatikan model rangkaian seperti Gambar 2 maka untuk menghitung daya motor induksi adalah [12] :

$$(P_{in})_{3ph} = \sqrt{3} \times V_1 \times I_1 \times \cos \varphi \quad (6)$$



Gambar 2. Diagram Aliran Daya Motor Induksi [13].

Rugi-rugi tembaga stator [13] :

$$P_{SCL} = 3 I_1^2 R_1 \quad (7)$$

Rugi-rugi inti [13] :

$$P_{core} = 3 E_1^2 G_c \quad (8)$$

Jadi, daya celah udara dapat ditentukan dengan [13] :

$$P_{AG} = P_{in} - P_{SCL} - P_{core} \quad (9)$$

Rugi tembaga rotor [13] :

$$P_{RCL} = s \cdot P_{AG} \quad (10)$$

Daya yang dikonversikan dari bentuk listrik ke mekanik [13] :

$$\begin{aligned} P_{conv} &= P_{AG} - P_{RCL} \\ &= P_{AG} - s \cdot P_{AG} = (1 - s) P_{AG} \end{aligned} \quad (11)$$

Akhirnya, jika rugi gesekan dan angin dan rugi menyimpang diketahui, kekuatan *output* dapat ditentukan [13] :

$$P_{out} = P_{conv} - P_{F\&W} - P_{misc} \quad (12)$$

Torsi induksi juga dapat dihitung dengan persamaan [13] :

$$\begin{aligned} T_{ind} &= \frac{(1-s)P_{AG}}{(1-s)\omega_{sync}} \\ T_{ind} &= \frac{P_{AG}}{\omega_{sync}} \end{aligned} \quad (13)$$

Selain itu juga ada torsi beban yang dapat ditentukan dengan persamaan [13] :

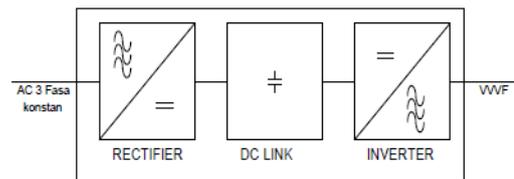
$$T_{load} = \frac{P_{out}}{\omega_r} \quad (14)$$

Inverter

Inverter listrik merupakan konverter daya listrik yang mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC). Tegangan masukan, tegangan keluaran, dan frekuensi tergantung pada desain yang dirancang. Dalam dunia kelistrikan *inverter* memang sangat populer digunakan dalam berbagai keperluan. *Inverter* adalah suatu alat yang dapat mengubah tegangan searah menjadi tegangan bolak-balik dengan frekuensi dan tingkat tegangan yang dapat diatur. *Inverter* dapat secara luas diklasifikasikan ke dalam dua tipe, yaitu *inverter* satu fasa dan *inverter* tiga fasa. Setiap tipe *inverter* ini dapat menggunakan piranti terkendali *turn-on* dan *turn-off* (seperti BJTT, MOSFET, IGBT, MCT, SIT, GTO) atau *thyristor* komutasi paksa tergantung pada aplikasinya [14].

Prinsip Kerja Variable Speed Drive (VSD)

Prinsip kerja dari *Variable Speed Drive (VSD)* yang sederhana seperti Gambar 3 :



Gambar 3. Blok Diagram *Variable Speed Drive* Tiga Fasa [15].

Gambar 3 Blok diagram yang menunjukkan cara kerja *variabel speed drive* :

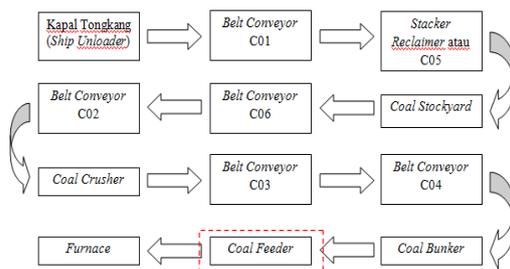
1. Tegangan yang masuk dari jala- jala 220/380 volt dan frekuensi 50 Hz merupakan tegangan arus bolak-balik (AC) dengan nilai tegangan dan frekuensi yang konstan. Kemudian dialirkan ke *board rectifier/* penyearah DC. Jadi dari AC di jadikan DC. Jika penyearah yang digunakan adalah penyearah terkendali, maka tegangan DC nya bisa diatur oleh (VSD).
2. Untuk meratakan tegangan DC, maka tegangan dimasukkan ke *DC link*. Komponen yang terdapat pada *DC link* berupa kapasitor atau induktor.
3. Tegangan DC kemudian diumpankan ke rangkaian *inverter* untuk dijadikan AC kembali dengan frekuensi sesuai kebutuhan. Sehingga dari tegangan DC diubah kembali ke tegangan AC tiga fasa. Komponen *switching*-nya adalah semikonduktor aktif seperti IGBT atau *MOSFET*.

Tegangan keluaran dari VSD berupa tegangan dan frekuensi yang bisa diatur sehingga disebut *Variable Voltage Variable Frequency* (VVVF). Persamaan menghitung efisiensi motor induksi [13]:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \quad (15)$$

2. METODE PENELITIAN

Pada PLTU Tenayan Raya, sistem suplai bahan bakar batubara sangat diperhatikan, karena batubara merupakan sesuatu yang sangat penting dalam proses produksi tenaga listrik. Adapun alurnya seperti Gambar 4 :



Gambar 4. Siklus Batubara Di PLTU Tenayan Raya.

Pada Gambar 4 menunjukkan suatu siklus batubara dari tongkang hingga ke tempat ruang bakar (*furnace*). Batubara merupakan hal yang sangat penting untuk diperhatikan, karena batubara sebagai sumber bahan bakar dalam proses produksi tenaga listrik. Jika sistem batubara bagus maka akan menghasilkan produksi yang maksimal. Oleh karena itu, peran motor *coal feeder* sangat berpengaruh dalam mengatur aliran (*flow*) batubara yang akan masuk ke dalam *furnace*.

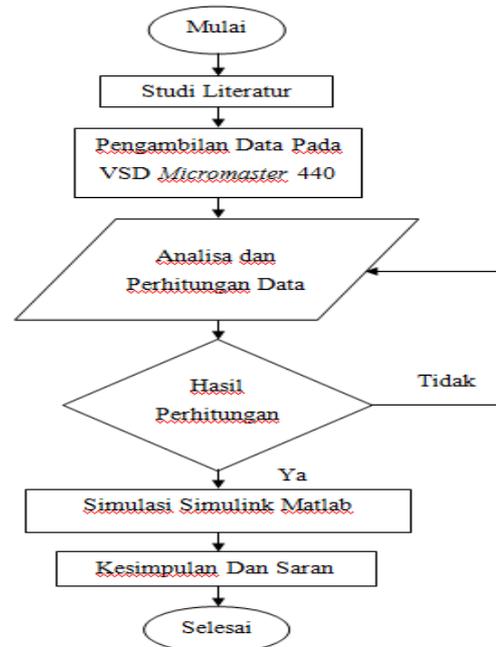
Diagram alir penelitian ini di PT. Pembangkitan Jawa Bali Unit Bisnis Jasa *Operation Dan Maintenance* (PT. PJB UBJOM) PLTU Tenayan seperti Gambar 5 :

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Dengan Frekuensi 4 Hz

Pengujian dimulai dari frekuensi operasi terendah yaitu 4 Hz, dengan tegangan *output inverter* 36,8 V, arus 12,55 A dan faktor daya 0,363, maka dapat dianalisa dengan menggunakan persamaan (6) :

$$\begin{aligned} f_s &= 4 \text{ Hz} \\ V_{in} &= 36,8 \text{ Volt} \\ I_{in} &= 12,55 \text{ A} \\ P_{in} &= \sqrt{3} \times 36,8 \text{ V} \times 12,55 \text{ A} \times 0,363 \\ &= 290,37 \text{ Watt} \end{aligned}$$



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

Kecepatan stator dan rotor dapat dihitung menggunakan persamaan (1 dan 3) :

$$\begin{aligned} n_s &= \frac{120 \times 4}{4} \\ n_s &= 120 \text{ rpm} \\ n_r &= n_s(1 - s) \\ &= 120(1 - 0,04) \\ &= 115,2 \text{ rpm} \end{aligned}$$

Kecepatan sudut rotor dan kecepatan sudut stator menggunakan persamaan (4) dan (5) :

$$\begin{aligned} \omega_r &= (115,2 \text{ r/min}) \times (2 \pi \text{ rad/r}) \times (1 \text{ min}/60\text{s}) \\ &= 12,06 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

$$\omega_s = \frac{\omega_r}{(1-s)}$$

$$= \frac{12,06}{0,96}$$

$$= 12,56 \text{ rad/s}$$

Perhitungan daya celah udara pada motor menggunakan persamaan (13) :

$$T_{ind} = \frac{P_{ag}}{\omega_s}$$

$$\begin{aligned} P_{ag} &= T_{ind} \times \omega_s \\ &= 7,89 \times 12,56 \\ &= 99,1 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Daya konversi motor menggunakan persamaan (11):

$$\begin{aligned} P_{conv} &= (1 - s) P_{ag} \\ &= (1 - 0,04) \times 99,1 \text{ Watt} \\ &= 95,13 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Daya *output* motor dengan mengabaikan rugi-rugi daya menggunakan persamaan (12) :

$$\begin{aligned} P_{out} &= P_{conv} - P_{loss} \\ P_{out} &= P_{conv} \\ &= 95,13 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Torka beban pada motor menggunakan persamaan (14) :

$$\begin{aligned} T_{load} &= \frac{P_{out}}{\omega_r} \\ &= \frac{95,13}{12,06} \\ &= 7,88 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Efisiensi motor induksi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (15) :

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \\ &= \frac{95,13}{290,37} \times 100 \% \\ &= 32,76 \% \end{aligned}$$

Pengujian Dengan Frekuensi 5 Hz

Pengujian dimulai dari frekuensi operasi terendah yaitu 5 Hz, dengan tegangan *output inverter* 44,4 V, arus 12,45 A dan faktor daya 0,3, maka dapat dianalisa dengan menggunakan persamaan (6) :

$$\begin{aligned} f_s &= 5 \text{ Hz} \\ V_{in} &= 44,4 \text{ Volt} \\ I_{in} &= 12,45 \text{ A} \\ P_{in} &= \sqrt{3} \times 44,4 \text{ V} \times 12,45 \text{ A} \times 0,3 \\ &= 287,23 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Kecepatan stator dan rotor dapat dihitung menggunakan persamaan (1 dan 3) :

$$\begin{aligned} n_s &= \frac{120 \times 5}{4} \\ n_s &= 150 \text{ rpm} \\ n_r &= n_s(1 - s) \\ &= 150(1 - 0,04) \end{aligned}$$

$$= 144 \text{ rpm}$$

Kecepatan sudut rotor dan kecepatan sudut stator pada motor menggunakan persamaan (4) dan (5) :

$$\begin{aligned} \omega_r &= (144 \text{ r/min}) \times (2 \pi \text{ rad/r}) \times (1 \text{ min}/60\text{s}) \\ &= 15,08 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \omega_s &= \frac{\omega_r}{(1-s)} \\ &= \frac{15,08}{0,96} \end{aligned}$$

$$= 15,7 \text{ rad/s}$$

Daya celah udara pada motor menggunakan persamaan (13) :

$$\begin{aligned} T_{ind} &= \frac{P_{ag}}{\omega_s} \\ P_{ag} &= T_{ind} \times \omega_s \\ &= 6,68 \times 15,7 \\ &= 104,87 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Daya konversi motor menggunakan persamaan (11):

$$\begin{aligned} P_{conv} &= (1 - s) P_{ag} \\ &= (1 - 0,04) \times 104,87 \text{ Watt} \\ &= 100,67 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Daya *output* motor dengan mengabaikan rugi-rugi daya menggunakan persamaan (12) :

$$\begin{aligned} P_{out} &= P_{conv} - P_{loss} \\ P_{out} &= P_{conv} = 100,67 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Torka beban pada motor menggunakan persamaan (14) :

$$\begin{aligned} T_{load} &= \frac{P_{out}}{\omega_r} \\ &= \frac{100,67}{15,08} \\ &= 6,67 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Efisiensi motor induksi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (15) :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \%$$

$$= \frac{100,67}{287,23} \times 100 \%$$

$$= 35,04 \%$$

Dari hasil pengamatan yang telah dilakukan, maka didapat tabel hasil pengukuran seperti Tabel 1, Tabel 2, Tabel 3 dan Tabel 4 :

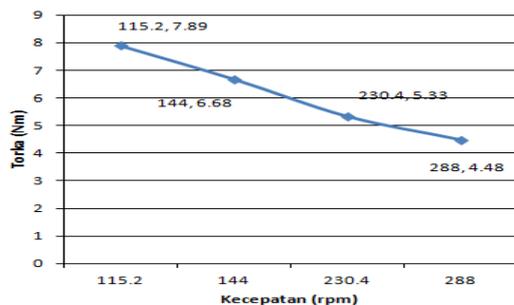
Tabel 1 Hasil Dari Penelitian

No	F (Hz)	V (Volt)	I (Amper)	n _r (rpm)	Coal Flow (t/h)	Daya Input (Watt)	Daya Output (Watt)	T _{ind} (Nm)	η (%)
1	4	36,8	12,55	115,2	17,16	290,37	95,13	7,89	32,76
2	5	44,4	12,45	144	19,70	287,23	100,67	6,68	35
3	8	68	12,28	230,4	34,5	309,51	128,58	5,33	41,54
4	10	83,8	12,26	288	42,9	323,87	135,08	4,48	41,7

Tabel 2 Pengaruh Kecepatan Terhadap Torka

Kecepatan Rotor (rpm)	Torka Induksi (Nm)
115,2	7,89
144	6,68
230,4	5,33
288	4,48

Gambar 6 menunjukkan bahwa apabila nilai kecepatan semakin besar maka akan berpengaruh pada torka induksi motor semakin rendah.

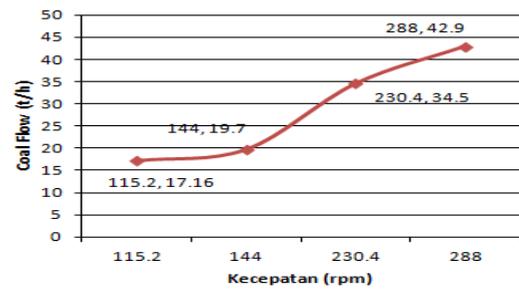


Gambar 6. Grafik Pengaruh Kecepatan Terhadap Torka

Tabel 3 Pengaruh Kecepatan Terhadap Coal Flow

Kecepatan Rotor (rpm)	Coal Flow (t/h)
115,2	17,16
144	19,7
230,4	34,5
288	42,9

Gambar 7 menunjukkan bahwa jika kecepatan semakin besar maka nilai coal flow juga akan semakin besar.

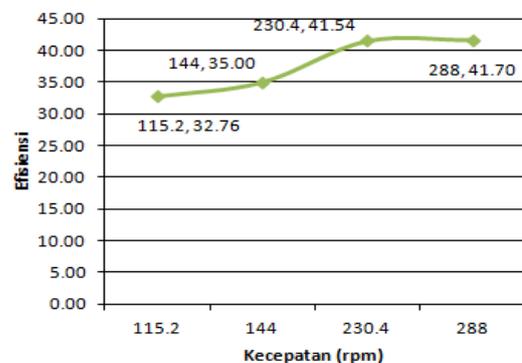


Gambar 7. Grafik Pengaruh Kecepatan Terhadap Coal Flow

Tabel 4 Pengaruh Kecepatan Terhadap Efisiensi Motor Induksi

Kecepatan Rotor (rpm)	Efisiensi (%)
115,2	32,76
144	35,00
230,4	41,54
288	41,70

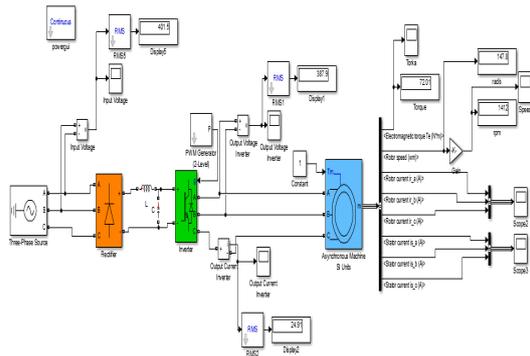
Gambar 8 menunjukkan bahwa jika kecepatan motor semakin besar maka efisiensi dari motor induksi juga semakin meningkat.



Gambar 8. Grafik Pengaruh Kecepatan Terhadap Efisiensi Motor Induksi.

Rangkaian motor coal feeder menggunakan variable speed drive dan menggunakan simulink matlab. Seperti Gambar 9, dimana rangkaian

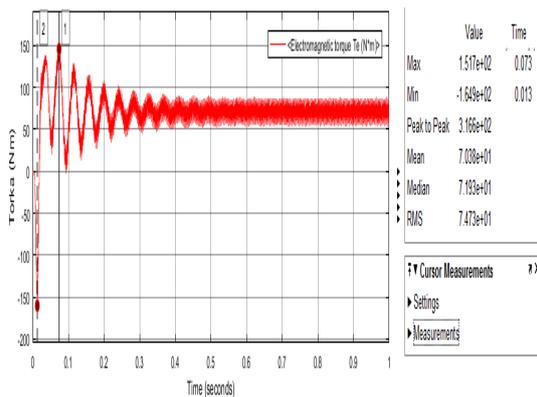
simulasi bertujuan untuk melihat bentuk gelombang dari motor *coal feeder*.



Gambar 9. Rangkaian Simulasi Motor *Coal Feeder*.

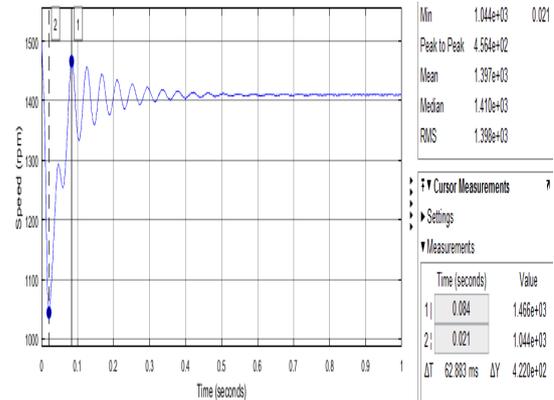
Dari rangkaian *Simulink Matlab* diatas memakai tegangan sumber 400 V, selain itu juga menggunakan *Variable Speed Drive* dalam pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa. Motor yang digunakan 11 kW, 400 V, 50 Hz, 1440 rpm. Hasil gelombang simulasi dapat dilihat pada Gambar 10 dan Gambar 11.

Gambar 10 Dari grafik menunjukkan nilai torka minimum sebesar -165 Nm pada waktu 0,013 detik, dan nilai torka maksimim sebesar 151 Nm pada waktu 0,073 detik.



Gambar 10. Gelombang Torka Motor Induksi.

Gambar 11 Dari grafik menunjukkan nilai kecepatan pada kondisi normal sebesar 1398 rpm pada waktu 0,525 detik, nilai kecepatan minimum sebesar 1044 rpm pada waktu 0,021 detik, dan nilai kecepatan maksimum sebesar 1466 rpm pada waktu 0,084 detik.



Gambar 11. Gelombang Kecepatan Motor Induksi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian motor *coal feeder* di PLTU Tenayan Raya, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hasil pengukuran dan perhitungan dari perubahan kecepatan motor terhadap torka motor *coal feeder* pada kecepatan 115,2 rpm diperoleh torka 7,89 Nm, pada kecepatan 144 rpm diperoleh torka 6,68 Nm, pada kecepatan 230,4 rpm diperoleh torka 5,33 Nm dan pada kecepatan 288 rpm diperoleh torka 4,48 Nm.
2. Hasil pengukuran dan perhitungan dari perubahan kecepatan terhadap efisiensi motor *coal feeder*, pada kecepatan 115,2 rpm diperoleh efisiensi 32,76 %, pada kecepatan 144 rpm diperoleh efisiensi 35 %, pada kecepatan 230,4 rpm diperoleh efisiensi 41,54 %, dan pada kecepatan 288 rpm diperoleh efisiensi 41,70 %.
3. Hasil dari perhitungan efisiensi menunjukkan bahwa semakin bertambah frekuensi maka efisiensi juga akan meningkat, itu dikarenakan kecepatan motor bertambah seiring meningkatnya frekuensi pada *variable speed drive*.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. A. Sinaga, H. Eteruddin, and A. Tanjung, "Pengaruh Kapasitor Terhadap Faktor Daya Motor Induksi Tiga Fasa di PT. Malindo Karya Lestari," *Jurnal Teknik*, vol. 15, no. 2, pp. 85–93, 2021.
- [2] P. R. H. Marpaung, H. Eteruddin, and D. Setiawan, "Studi Perubahan Beban Terhadap Kinerja AVR pada Generator Sinkron Unit 2 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) PT. Ujdom Tenayan Raya," in *Seminar Nasional Karya Ilmiah Multidisiplin*, 2021, pp. 96–109.
- [3] H. Eteruddin, M. Ridwan, Monice, Zulfahri, Y. Z. Arief, and F. Hasanti, "Coal Fuel

- Efficiency with Mixed Palm Shell Biomass for Steam Power Plant,” in 2021 IEEE Conference on Energy Conversion (CENCON), 2021, pp. 148–153.
- [4] Erisman, H. Eteruddin, and A. Atmam, “Evaluasi Kinerja Motor Ship Moving 3 Phasa Menggunakan Variable Speed Drive (VSD) Pada PLTU Tenayan Raya Pekanbaru,” in Seminar Nasional Cendekiawan ke 4, 2018, pp. 237–242.
- [5] R. A. Rangkuti, A. Atmam, and E. Zondra, “Studi Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Phasa Menggunakan Variable Speed Drive (VSD) Berbasis Programmable Logic Controller (PLC),” *Jurnal Teknik*, vol. 14, no. 1, pp. 121–128, 2020.
- [6] M. Al and E. Zondra, “Analisis Harmonisa Menggunakan Filter Pasif Pada Vsd Dengan Beban Motor Electrical Submersible Pump Di PT. CPI,” *Jurnal Teknik*, vol. 15, no. 1, pp. 9–17, 2021.
- [7] A. Atmam, A. Tanjung, and Z. Zulfahri, “Analisis Penggunaan Energi Listrik Motor Induksi Tiga Phasa Menggunakan Variable Speed Drive (VSD),” *SainETIn*, vol. 2, no. 2, pp. 52–59, 2018.
- [8] M. B. Karsono, *Buku Saku Operator Turbin Dan Boiler*. Pekanbaru: PT PJB UBJOM PLTU Tenayan, 2016.
- [9] S. J. Chapman, *Electric Machinery Fundamentals*, 5th ed. New York: Raghathan Srinivasan, 2012.
- [10] Fitzgerald A.E, *Electric machinery*, 6th ed., vol. 319, no. 4. New York: Elizabeth A. Jones, 1985.
- [11] D. N. Huda, “Pengujian Unjuk Kerja Variabel Speed Drive Vf-S9 Dengan Beban Motor Induksi 3 Fasa 1 HP,” vol. 1, no. 1, pp. 1–8, 2015.
- [12] Y. Rijono, *Dasar Teknik Tenaga Listrik*, Edisi Revi. Andi, 2004.
- [13] M. Wijaya, “Dasar-dasar Mesin Listrik.” Djambatan, Jakarta, 2001.
- [14] Zuhail, “Dasar Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya.” PT Gramedia, Jakarta, 2000.
- [15] Atmam, E. Zondra, and Zulfahri, “Analisis Penggunaan Energi Listrik Pada Motor Induksi Satu Phasa dengan Menggunakan Inverter,” *SainETIn*, vol. 1, no. 2, pp. 1–8, 2017.