

STUDI VARIABLE SPEED DRIVE UNTUK MOTOR WATER PUMP DI PT. RIAU ANDALAN PULP AND PAPER

STUDY OF VARIABLE SPEED DRIVE FOR MOTORCYCLE WATER PUMP AT PT. RIAU PULP AND PAPER RELIABLE

Kevin*¹, Putra Sawaluddin Guci², Raka Ratama³

¹Program Studi Teknik Listrik, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Medan

^{2,3}Program Studi Teknologi Rekayasa Instalasi Listrik, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Medan

Email: kevin@students.polmed.ac.id

Abstract

Induction motors play a very important role in the industrial world so they are widely used, this is because the construction of induction motors is very simple and has strong durability, relatively cheap prices and easy maintenance and high efficiency. In an industrial production process, many motors are used, one of which is the Water Pump Motor at PT. Riau Mainstay Pulp and Paper which can be adjusted to the motor rotation speed using a Variable Speed Drive. Variable Speed Drive is changing the voltage from AC to DC and then changing it again to AC according to the frequency requirements needed to carry out the production process. The set speeds are 85%, 80% and 75%. Variations in frequency changes have a very big influence, 2550 RPM, a frequency of 40 Hz produces a speed of 2400 RPM, a frequency of 37.5 Hz produces a speed of 2250 RPM. Likewise, the smaller the frequency given, the smaller the torque and efficiency produced.

Keyword: : Induction motor, Variable Speed Drives, Frequency

Abstrak

Motor induksi memegang peranan yang sangat penting dalam dunia perindustrian sehingga banyak digunakan, hal ini dikarenakan konstruksi motor induksi yang sangat sederhana dan memiliki daya tahan kuat, harga yang relative murah dan dengan perawatan yang mudah serta memiliki efisien yang tinggi. Dalam sebuah proses produksi industry, banyak motor yang digunakan salah satunya adalah Motor Water Pump yang ada di PT. Riau Andalan Pulp and Paper yang dapat diatur kecepatan putaran motor dengan menggunakan Variable Speed Drive. Variable Speed Drive adalah mengubah tegangan dari AC ke DC kemudian diubah lagi ke AC sesuai dengan kebutuhan frekuensi yang dibutuhkan untuk melakukan proses produksi. Kecepatan yang diatur adalah 85%, 80% dan 75%. Variasi perubahan frekuensi memiliki pengaruh yang sangat besar 2550 RPM, Frekuensi 40 Hz menghasilkan kecepatan sebesar 2400 RPM, Frekuensi 37,5 Hz menghasilkan kecepatan 2250 RPM. Begitu juga semakin kecil Frekuensi yang diberikan maka besar torsi dan efisiensi yang dihasilkan semakin kecil.

Kata Kunci: Motor Induksi, Variable Speed Drive, Frekuensi

I. PENDAHULUAN

Energi listrik adalah salah satu bentuk energi yang paling penting dalam kehidupan modern. Sejak di temukan listrik pada abad ke 19, energi listrik telah mengalami perkembangan yang signifikan dan menjadi sangat penting dalam kehidupan manusia. Saat ini, energi listrik dapat dihasilkan dari berbagai sumber, termasuk batubara, minyak, gas alam, nuklir dan energi yang terbarukan seperti angin, matahari dan air. Meskipun energi listrik sangat penting bagi kehidupan modern, penggunaan sumber energi yang tidak terbarukan seperti batubara, minyak dan gas alam menyebabkan dampak negatif pada lingkungan.

Motor listrik 3 fasa merupakan alat yang bekerja dengan memanfaatkan perbedaan fasa pada sumber untuk menimbulkan gaya putar pada bagian rotornya. Perbedaan fasa pada motor 3 fasa yaitu didapat langsung dari sumber. Hal ini yang menjadi pembeda antara motor 1 fasa dengan motor 3 fasa. Motor induksi tiga fasa banyak digunakan oleh dunia industri karena memiliki beberapa keuntungan. Keuntungan yang didapat diperoleh dalam pengendalian motor-motor induksi tiga fasa yaitu, struktur motor induksi tiga fasa lebih ringan (20% hingga 40%) dibandingkan motor arus searah (DC). (Abidin, Z., Priangkoso, T., & Darmanto, D, 2013)

Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mengendalikan kecepatan motor induksi tersebut di antaranya dengan kendali tegangan dan frekuensi yang dikenal dengan kendali V/f konstan. Kendali V/f konstan adalah salah satu cara untuk mengendalikan kecepatan putar motor induksi dengan merubah tegangan dan frekuensi, tetapi menjaga konstan rasio keduanya. Hal yang paling umum dalam penerapan cara ini adalah dengan menggunakan perangkat yang dikenal. Hal yang paling umum dalam penerapan cara ini adalah dengan menggunakan perangkat yang dikenal dengan inverter. Oleh karena itu pada penelitian ini penulis merancang inverter, khususnya inverter satu fasa dengan kendali V/f konstan, yang diaplikasikan untuk mengendalikan kecepatan putar motor induksi. (Haryanto, 2014)

Motor Induksi mempunyai banyak keunggulan di segi teknis maupun ekonomis, karena itu motor induksi terutama jenis motor induksi tiga fasa banyak digunakan pada dunia industri. Akan tetapi motor induksi juga mempunyai kekurangan, antara lain arus awal yang tinggi dan dapat menyebabkan penurunan tegangan sistem dan mengganggu kerja. (Yoki Rijal Fauzi, 2017)

Pengaturan kecepatan putaran motor induksi 3 fasa menggunakan programmable logic controller menjelaskan bahwa kemajuan industri di 7 negara kita mengalami perkembangan yang pesat, baik pada perindustrian besar maupun perindustrian yang kecil. Sejalan dengan perkembangan tersebut kebutuhan akan peralatan produksi yang tepat sangat diperlukan agar dapat meningkatkan efisiensi waktu dan biaya. Sebagian besar dari peralatan industri menggunakan tenaga listrik sebagai penggerak utama salah satunya motor listrik. Dan motor listrik induksi adalah motor yang paling banyak digunakan saat ini. Karena memiliki konstruksi yang sederhana, relatif murah, lebih ringan dan memiliki efisiensi lebih tinggi serta mudah dalam pemeliharaan dibandingkan dengan motor DC. Tetapi pengaturan kecepatan dan torsi motor induksi bukanlah suatu permasalahan yang mudah untuk dilakukan. Oleh sebab itu diperlukan teknologi yang tepat untuk mengatur putaran motor induksi stabil. (Noorly Evalina, Abdul Azis H, Zulfikar, Juni 2018)

Inverter merupakan sebuah alat pengatur kecepatan motor dengan mengubah nilai frekuensi dan tegangan yang masuk ke motor. Pengaturan nilai frekuensi dan tegangan ini dimaksudkan untuk mendapatkan kecepatan putaran dan torsi motor yang diinginkan atau sesuai dengan kebutuhan. Secara sederhana prinsip dasar inverter untuk dapat mengubah frekuensi menjadi lebih kecil atau lebih besar yaitu dengan mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC kemudian dijadikan tegangan AC lagi dengan frekuensi yang berbeda atau dapat diatur. Inverter merupakan alat untuk mengatur kecepatan putaran motor dengan cara mengubah frekuensi listrik sesuai dengan kecepatan motor yang diatur, sebuah Variable Frequency Drive adalah suatu sistem untuk mengendalikan kecepatan rotasi motor listrik arus bolak-balik dengan mengendalikan frekuensi

listrik yang diberikan ke motor listrik arus bolak-balik (AC) dengan mengendalikan frekuensi listrik yang diberikan ke motor. (Elvy Sahnur Nasution, Arnawan Hasibuan, April 2018)

Berdasarkan latar belakang yang telah di bahas di atas maka dapat dirumuskan masalah yang dapat diangkat untuk tugas akhir adalah

1. Bagaimana pengaruh frekuensi terhadap kecepatan motor induksi.
2. Bagaimana pengaruh kecepatan motor terhadap torsi.
3. Bagaimana dengan efisiensi motor induksi.

Teknologi variable speed drive dikembangkan. Variable speed drive memungkinkan penggunaan motor listrik dengan kecepatan yang dapat diubah sesuai dengan kebutuhan. Dengan menggunakan variabel speed drive, frekuensi dan tegangan yang diberikan ke motor dapat diatur secara variabel, sehingga memungkinkan pengoperasian motor pada kecepatan yang optimal. Penggunaan variabel speed drive dalam motor listrik memiliki sejumlah manfaat signifikan. Pertama dengan mengoperasikan motor pada kecepatan yang lebih rendah sesuai dengan beban yang diperlukan, variabel speed drive dapat menghemat energi secara signifikan. Hal ini berkontribusi pada pengurangan biaya operasional dan dampak lingkungan yang dihasilkan oleh penggunaan energi listrik.

II. LANDASAN TEORI

Motor induksi tiga fasa adalah salah satu jenis dari motor-motor listrik yang bekerja berdasarkan induksi elektromagnet. Motor induksi memiliki sebuah energi listrik yaitu di sisi stator, sedangkan sistem kelistrikan di sisi rotornya diinduksikan melalui celah udara dari stator dengan media elektromagnet. Hal inilah yang menyebabkan diberi nama motor induksi. Motor induksi berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik yang berupa tenaga putar. Motor induksi terdiri dari dua bagian yang sangat penting yaitu stator atau bagaian yang diam dan rotor atau bagian yang berputar. Pada motor AC, kumparan rotor tidak menerima energi listrik secara langsung, tetapi secara induksi seperti yang terjadi pada energi kumparan transformator. Oleh karena itu motor AC dikenal Dengan motor induksi. Dilihat dari kesederhanaannya, konstruksi yang kuat dan kokoh serta mempunyai karakteristik kerja yang baik, motor induksi tiga fasa yang cocok dan paling banyak digunakan dalam bidang industri.

Penggunaan motor induksi yang banyak dipakai di kalangan industri mempunyai keuntungan sebagai berikut :

1. Bentuknya yang sederhana dan memiliki konstruksi yang kuat dan hampir tidak mengalami kerusakan yang berarti.
2. Harga yang relatif murah dan dapat diandalkan.
3. Efisiensi yang tinggi pada keadaan berputar normal, tidak memerlukan sikat sehingga rugi-rugi daya yang diakibatkan dari gesekan dapat dikurangi.
Namun disamping hal tersebut di atas, terdapat pula faktor-faktor kerugian

Konstruksi Motor Induksi Tiga Fasa

Pada dasarnya motor induksi terdiri dari suatu bagian yang tidak berputar (stator) dan bagian yang bergerak memutar (rotor) seperti pada gambar 2.1. Secara ringkas stator terdiri dari blek-blek dinamo yang berisolasi pada satu sisinya dan mempunyai ketebalan 0,35–0,5 mm, disusun menjadi sebuah paket blek yang berbentuk gelang. Disisi dalamnya dilengkapi dengan alur-alur. Di dalam alur ini terdapat perbedaan antara motor asinkron dengan lilitan sarang (rotor sarang atau rotor hubung pendek) dan gelang seret dengan lilitan tiga fasa. Atau dari sisi lainnya bahwa inti besi stator dan rotor terbuat dari lapisan (email) baja silikon tebalnya 0,35–0,5 mm, tersusun rapi, masing-masing terisolasi secara elektrik dan diikat pada ujung-ujungnya.

Lamel inti besi stator dan rotor bagian motor dengan garis tengah bagian motor, dengan garis tengah bagian luar dari stator lebih dari 1 m. Bagi motor dengan garis tengah yang lebih besar, lamel inti besi merupakan busur inti segmen yang disambung-sambung menjadi satu lingkaran. Celah udara antara stator dan rotor pada motor yang kecil adalah 0,25–0,75 mm, pada motor yang besar sampai 10 mm. Celah udara yang besar ini disediakan bagi kemungkinan terjadinya perenggangan pada sumbu sebagai akibat pembebanan transversal pada sumbu atau sambungannya. Tarikan pada pita (belt) atau beban yang tergantung tersebut akan menyebabkan sumbu motor melengkung. Pada dasarnya inti besi stator dan belitan rotor motor tak serempak ini sama dengan stator dan belitan stator mesin serempak. Kesamaan ini dapat ditunjukkan bahwa pada rotor mesin tak serempak yang dipasang atau sesuai dengan stator mesin tak serempak akan dapat bekerja dengan baik.

Stator

Pada bagian stator terdapat beberapa slot yang merupakan tempat kawat (konduktor) dari tiga kumparan yang masing-masing berbeda fasa dan menerima arus dari tiap fasa tersebut yang disebut kumparan stator. Stator terdiri dari plat –plat besi yang disusun sama besar dengan rotor dan pada bagian dalam mempunyai banyak alur yang diberi kumparan kawat tembaga yang berisolasi. Jika kumparan stator mendapatkan suplai arus tiga fasa maka pada kumparan tersebut akan timbul fluxmagnet putar. Karena adanya fluxmagnet putar pada kumparan stator, mengakibatkan rotor berputar karena adanya induksi magnet dengan kecepatan putar rotor sinkron dengan kecepatan putar stator.

$$N_s = \frac{120f}{P}$$

Dimana :

N_s = Kecepatan Sinkron (rpm)

f = Besarnya Frekuensi (Hz)

P = Jumlah Kutub

Konstruksi stator motor induksi sendiri terdiri atas beberapa bagian yaitu :

- a) Bodi Motor
- b) Inti Kutub magnet dan lilitan penguat magnet
- c) Slip Ring

Bagian dari konstruksi motor ialah :

- 1) Bodi Motor Fungsi utama dari bodi atau gandar motor adalah sebagai bagian dari tempat mengalirnya fluks magnet yang dihasilkan kutub- kutub magnet, karena itu beban motor dibuat dari bahan ferro magnetik. Disamping itu badan motor ini berfungsi untuk meletakkan alat-alat tertentu dan melindungi bagian –bagian mesin lainnya. Biasanya pada motor terdapat papan nama atau *name plate* yang bertuliskan spesifikasi umum dari motor.
- 2) Inti Kutub Magnet dan Lilitan Penguat Magnet Sebagaimana diketahui bahwa fluks magnet yang terdapat pada motor arus searah dihasilkan oleh kutub magnet buatan yang dibuat dengan prinsip elektromagnetis. Lilitan penguat magnet berfungsi untuk mengalirkan arus listrik agar terjadi proses elektromagnetis.

1. Rotor

Berdasarkan hukum Faraday tentang induksi magnet, maka medan putar yang secara relatif merupakan medan magnet yang bergerak terhadap penghantar rotor akan menginduksikan gaya gerak listrik (ggl). Frekuensi ggl induksi ini sama frekuensi jala-jala.

Besar ggl induksi ini berbanding lurus dengan kecepatan relatif antara medan putar dan penghantar rotor. Penghantar-penghantar dalam rotor yang membentuk suatu rangkaian tertutup, merupakan rangkaian laju arus rotor dan searah dengan hukum yang berlaku yaitu hukum Lenz.

Arahnya melawan fluksi yang menginduksi, dalam hal ini arus rotor itu ditimbulkan karena adanya perbedaan kecepatan yang berada di antara fluksi atau medan putar stator

dengan penghantar yang diam. Rotor akan berputar dalam arah yang sama dengan arah medan putar stator, untuk mengurangi beda kecepatan di atas. Jika rotor dibebani, maka putaran rotor akan turun sehingga terjadi perbedaan kecepatan putaran antara rotor dan stator, perbedaan kecepatan putaran ini disebut slip.

III. METODE PENELITIAN

a) Variabel Penelitian

Variabel penelitian adalah objek penelitian atau apa yang menjadi titik perhatian dari suatu penelitian. Dalam penelitian ini yang menjadi objek dan variabel penelitiannya adalah pengamatan terhadap pengaruh perubahan frekuensi inverter sehingga putaran pada motor 3 phasa akan berubah-ubah :

1. Variabel perubahan kecepatan motor
2. Variabel perubahan torsi *Variabel Speed Drive*
3. Variabel perubahan frekuensi *Variabel Speed Drive*
4. Variabel perubahan arus *Variabel Speed Drive*

b) Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data adalah suatu cara atau proses yang sistematis dalam pengumpulan, pencatatan dan penyajian fakta untuk tujuan tertentu.

1. Observasi
Pada metode ini pengumpulan data dilakukan dengan berdasarkan fakta langsung yang dilihat pada variabel speed drive motor water pump di PT. Riau Andalan Pulp and Paper.
2. Studi kepustakaan
Dengan menggunakan metode ini, dalam mengumpulkan data dilakukan dengan mempelajari referensi buku yang berkaitan dengan judul dalam penyusunan tugas akhir yaitu Studi Variabel Speed Drive Untuk Motor Water Pump di PT. Riau Andalan Pulp and Paper” bahan bacaan yang dipakai dalam metode ini adalah buku dan jurnal ilmiah.

c) Teknik Analisis Data

Hal ini merupakan suatu langkah yang sangat penting dalam suatu penelitian, terutama bila digunakan sebagai simpulan tentang masalah yang diteliti. Dalam hal ini bersifat deskriptif, analisis yang digunakan adalah analisis deskriptif presentase. Adapun analisis yang akan dilakukan adalah analisis perubahan perubahan frekuensi terhadap kecepatan motor induksi, analisis Torsi pada motor induksi dan analisis efisiensi motor terhadap penggunaan energi.

d) Analisis perubahan frekuensi motor induksi

Analisis dilakukan untuk mengetahui bagaimana pengaruh nilai frekuensi terhadap motor induksi tiga phasa dan hubungan antara frekuensi dengan tegangan. Kemudian analisis dilakukan dengan membandingkan data yang didapat dengan data yang ada dilapangan setelah data dilakukan perhitungan akan dilakukan perhitungan beda atau persen kesalahan yang terjadi pada saat melakukan pengukuran langsung dengan perhitungan.

1) Analisis perubahan kecepatan terhadap torsi motor induksi

Analisis dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan kecepatan terhadap torsi yang dihasilkan. Analisis dilakukan dengan menggunakan rumus perhitungan untuk mendapatkan torsi. Rumus digunakan dengan menggunakan data daya output dengan kecepatan putaran.

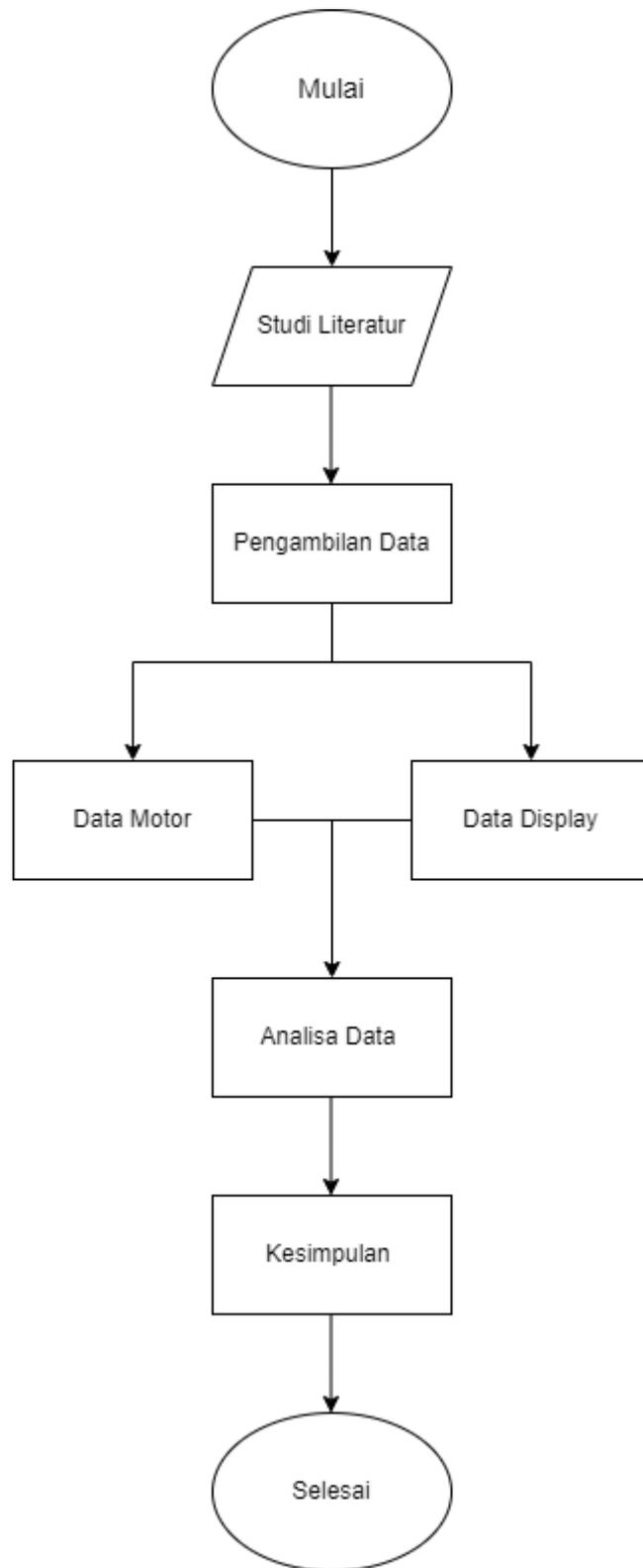
2) Analisis efisiensi motor induksi

Analisis dilakukan untuk mengetahui penggunaan *Variabel Speed Drive* terhadap efisiensi penggunaan daya dengan menggunakan rumus perhitungan untuk mendapatkan efisiensi dari penggunaan daya motor induksi. Perhitungan dilakukan dengan membandingkan daya output dengan daya input untuk mendapatkan seberapa efisien penggunaan motor induksi tiga fasa tersebut.

e) Alur Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini, data yang dipakai diperoleh dari hasil pengukuran kecepatan motor induksi, tegangan, arus dan $\cos\phi$ yang terdapat dalam *Variable Speed Drive* yang terhubung ke motor induksi tiga fasa 2100 KW, dengan tegangan 6600 V.

- 1) Penelitian ini dimulai dari studi literatur, dengan mengumpulkan berbagai sumber literatur yang mempunyai banyak kaitan yang hampir sama dengan penelitian yang akan diteliti oleh peneliti.
- 2) Melakukan pengambilan data di dalam PT. Riau Andalan Pulp and Paper. Data yang diambil seperti data spesifikasi motor dan data yang terdapat panel *Variabel Speed Drive*. pengambilan data melibatkan beberapa metode yaitu pengujian menggunakan *Variabel Speed Drive* secara langsung. Data yang dikumpulkan seperti tegangan, frekuensi, arus dan kecepatan motor.
- 3) Data yang diambil dari motor adalah data *nameplate* motor seperti tegangan, arus, $\cos\phi$, jumlah pole, frekuensi, daya motor serta kecepatan putaran motor. Data juga diambil melalui pengujian secara langsung di VSD dengan mencatat data yang ada pada display. Data yang dicatat berupa tegangan, daya output, arus, frekuensi serta putaran motor.
- 4) Setelah data diolah maka akan dilakukan analisis data. Analisis data adalah proses melakukan interpretasikan dan mengevaluasi data yang telah dikumpulkan dalam memperoleh informasi yang berarti dan mendapatkan sebuah kesimpulan dalam suatu penelitian. Analisis melibatkan tegangan, arus, frekuensi dan jumlah kutub untuk menentukan kecepatan dari motor.
- 5) Analisis yang telah dilakukan akan dilakukan penarikan kesimpulan mengenai penelitian yang telah dilakukan.



Gambar 12 Flow Char

IV. HASIL DAN ANALISIS

Spesifikasi motor induksi yang digunakan sesuai dengan spesifikasi pada name plate, yaitu :

Daya motor	: 2100 KW
Frekuensi	: 50 Hz
Tegangan	: 6600 V
Arus	: 219 Ampere
Putaran	: 2985 RPM
Cos phi	: 0,89
Jumlah Pole	: 2
Kode Motor	: 282P003

Kemudian data pengukuran arus, tegangan, frekuensi motor induksi tiga fasa yang ditampilkan di dalam panel *Variabel Speed Drive*.

Tabel 1. Data Penelitian

Tanggal	Tegangan	Arus	Putaran	Frekuensi	%	Total daya
17 Maret 2023	5610	186	2550	42,5	85%	1289
17 Maret 2023	5280	175	2400	40	80%	1075
17 Maret 2023	4950	164	2250	37,5	75%	885

Sumber : PT. Riau Andalan Pulp and Paper

a) Analisis Perubahan Frekuensi Terhadap Kecepatan Motor

Pada dasarnya frekuensi merupakan parameter yang sangat krusial karena sangat berpengaruh banyak terhadap peralatan listrik. Frekuensi berpengaruh terhadap kecepatan motor, pada prinsip dasarnya motor berputar karena adanya prinsip kerja elektromagnetik, dimana ketika terdapat arus yang mengalir pada suatu penghantar maka akan timbul medan magnet yang mengelilingi penghantar tersebut. Hal ini lebih dikenal dengan kaidah tangan kanan dimana ibu jari mewakili arah arus dan keempat jari lainnya mewakili arah medan magnet. Sehingga arah arus mempengaruhi arah medan magnet. Lilitan pada stator akan menjadikan inti besi pada stator menjadi magnet dengan kutub tertentu tergantung arah melilitkan lilitan kawatnya. Jika ada penghantar yang memotong medan magnet tersebut maka akan timbul ggl induksi, sehingga bila penghantar tersebut menjadi suatu rangkaian tertutup maka akan timbul arus. Jika ada arus yang terdapat di dalam medan magnet akan menimbulkan gaya dorong yang disebut dengan gaya Lorentz. Kawat yang membawa arus dibengkokkan menjadi sebuah lingkaran/loop, maka kedua sisi loop, yaitu pada sudut kanan medan magnet, akan mendapatkan gaya pada arah yang berlawanan. Pasangan gaya menghasilkan tenaga putar/torsi untuk memutar kumparan. Karena perubahan arah arus yang cepat (50 kali tiap detik) maka gaya yang bekerja untuk memutar penghantar tersebut juga semakin cepat. Sehingga jika nilai kecepatan perubahan arah arus lebih lambat maka proses terjadi prinsip kerja elektromagnetik dari motor juga

berjalan lebih lambat sehingga mempengaruhi kecepatan putar motor. Dengan demikian maka jika mengubah nilai frekuensi maka seperti mengubah kecepatan motor listrik. Dengan nilai perubahan yang linear. Data penelitian diambil dari PT. Riau Andalan Pulp and Paper yang diambil pada tanggal 17 Maret 2023. Berdasarkan data yang diperoleh dari *name plate* motor induksi tiga fasa maka dapat dihitung parameter frekuensi sebagai berikut :

$$n = \frac{120 \cdot f}{p}$$

$$n = \frac{120 \cdot 50}{2}$$

$$n = \frac{6000}{2}$$

$$n = 3000 \text{ RPM}$$

Dengan didapatnya jumlah RPM secara perhitungan maka akan dilakukan persentase slip yang terjadi pada motor induksi tiga fasa :

$$s = \frac{(n_{sync} - n_m)}{n_{sync}} 100\%$$

$$s = \frac{(3000 - 2985)}{3000} 100\%$$

$$s = \frac{(15)}{1500} 100\%$$

$$s = 0,01 100\%$$

$$s = 1\%$$

Berdasarkan perhitungan terjadi slip sebesar 1% untuk motor *water pump*. Dari hasil pengaturan pada *Variable Speed Drive*, bahwa frekuensi yang diatur sebesar 42,5 Hz maka kecepatan motor :

$$n = \frac{120 \cdot f}{p}$$

$$n = \frac{120 \cdot 42,5}{2}$$

$$n = \frac{5100}{2}$$

$$n = 2550 \text{ RPM}$$

Dari hasil pengaturan pada *Variable Speed Drive*, bahwa frekuensi yang diatur sebesar 40 Hz maka kecepatan motor :

$$n = \frac{120 \cdot f}{p}$$

$$n = \frac{120 \cdot 40}{2}$$

$$n = \frac{4800}{2}$$

$$n = 2400 \text{ RPM}$$

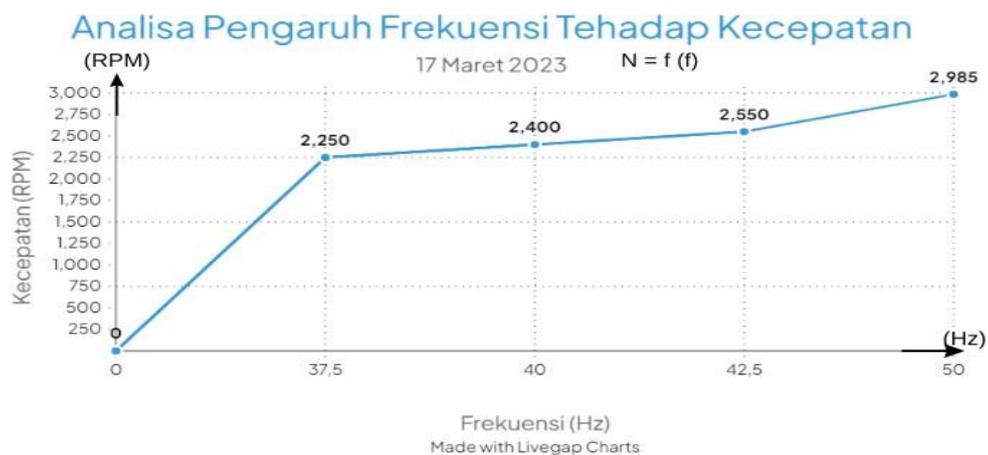
Dari hasil pengaturan pada *Variabel Speed Drive*, bahwa frekuensi yang diatur sebesar 37,5 Hz. Maka kecepatan motor :

$$n = \frac{120 \cdot f}{p}$$

$$n = \frac{120 \cdot 37,5}{2}$$

$$n = \frac{4500}{2}$$

$$n = 2250 \text{ RPM}$$



Gambar 12. Pengaruh Frekuensi Terhadap Kecepatan

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa setiap kenaikan frekuensi sebanding dengan kenaikan kecepatan putaran motor induksi.

b) Analisis Perubahan Kecepatan Terhadap Torsi

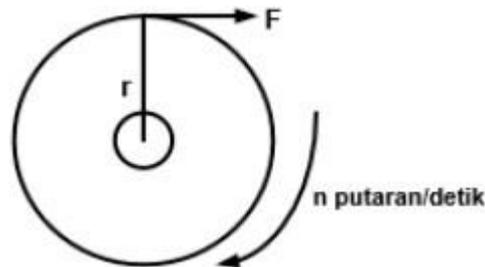
Torsi adalah putaran dari suatu gaya terhadap suatu poros. Torsi diukur dengan hasil kali gaya dengan jari-jari lingkaran dimana gaya tersebut bekerja. Menunjukkan pada suatu roda jari-jari r bekerja suatu gaya F newton yang menyebabkan benda berputar dengan kecepatan n putaran per detik

$$T = \frac{975 \cdot P}{n}$$

T = Torsi (Nm)

P = Daya output (Kw)

N = kecepatan motor (RPM)



Gambar 13. Arah Putaran

Analisis perubahan kecepatan motor terhadap torsi dengan frekuensi 50 Hz. Dengan terjadinya perubahan kecepatan motor maka besar torsi yang dibangkitkan juga mengalami perubahan berikut adalah perubahan frekuensi sebesar 50 Hz adalah sebagai berikut :

$$T = \frac{975 \cdot P}{n}$$

$$T = \frac{975 \cdot 2100}{2985}$$

$$T = \frac{2.047.500}{2985}$$

$$T = 685,92 \text{ Nm}$$

Berdasarkan perhitungan maka besar torsi yang dibangkitkan dengan besar frekuensi 50 Hz sebesar 685,92 Nm. Analisis perubahan kecepatan motor terhadap torsi dengan frekuensi 42,5 Hz. Dengan terjadinya perubahan kecepatan motor maka besar torsi yang dibangkitkan juga mengalami perubahan berikut adalah perubahan frekuensi sebesar 42,5 Hz adalah sebagai berikut :

$$T = \frac{975 \cdot P}{n}$$

$$T = \frac{975 \cdot 1289}{2550}$$

$$T = \frac{1.256.775}{2550}$$

$$T = 492,85 \text{ Nm}$$

Berdasarkan perhitungan maka besar torsi yang dibangkitkan dengan besar frekuensi 42,5 Hz sebesar 492,85 Nm. Analisis perubahan kecepatan motor terhadap torsi dengan frekuensi. Dengan terjadinya perubahan kecepatan motor maka besar torsi yang dibangkitkan juga mengalami perubahan berikut adalah perubahan frekuensi sebesar 40 Hz adalah sebagai berikut:

$$T = \frac{975 \cdot P}{n}$$

$$T = \frac{975 \cdot 1075}{2400}$$

$$T = \frac{1.048.125}{2400}$$

$$T = 436,71 \text{ Nm}$$

Berdasarkan perhitungan maka besar torsi yang dibangkitkan dengan besar frekuensi 40 Hz sebesar 436,71 Nm. Analisis perubahan kecepatan motor terhadap torsi dengan frekuensi. Dengan terjadinya perubahan kecepatan motor maka besar torsi yang dibangkitkan juga mengalami perubahan berikut adalah perubahan frekuensi sebesar 37,5 Hz adalah sebagai berikut:

$$T = \frac{975 \cdot P}{n}$$

$$T = \frac{975 \cdot 885}{2250}$$

$$T = \frac{862.875}{2250}$$

$$T = 383,5 \text{ Nm}$$

Berdasarkan perhitungan maka besar torsi yang dibangkitkan dengan besar frekuensi 37,5 Hz sebesar 383,5 Nm.



Gambar 14. Analisis Pengaruh Frekuensi Terhadap Torsi

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa setiap kenaikan frekuensi sebanding dengan kenaikan torsi motor induksi

c) Analisis Efisiensi Daya Motor

Efisiensi sebuah motor adalah suatu ukuran seberapa baik motor itu dapat mengubah energi masukan listrik ke energi keluaran mekanik. Efisiensi berhubungan langsung dengan rugi-rugi motor induksi terlepas dari desain motor itu sendiri. Dinyatakan sebagai perbandingan antara daya keluaran dan daya masukan dan biasanya dinyatakan dalam persen juga sering dinyatakan dengan perbandingan antara keluaran dengan keluaran ditambah rugi-rugi, yang dirumuskan dalam persamaan berikut :

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

Analisis efisiensi daya motor. Dimulai dengan melakukan perhitungan daya input. Setelah daya input dihitung maka akan dicari efisiensi daya dengan membandingkan daya input dengan daya output.

$$P_{in} = \sqrt{3} V \cdot I \cos\phi$$

$$P_{in} = \sqrt{3} \cdot 6600 \cdot 219 \cdot 0,89$$

$$P_{in} = 2.228.120,55 \text{ watt}$$

Daya input untuk frekuensi 50 Hz adalah sebesar 2.228.120,55 watt

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

$$\eta = \frac{2100}{2228} 100\%$$

$$\eta = 94\%$$

Setelah dilakukan perbandingan daya input dan daya output efisiensi yang ada pada motor sebesar 94%

$$P_{in} = \sqrt{3} V.I \cos\phi$$

$$P_{in} = \sqrt{3} \cdot 5610 \cdot 186 \cdot 0,89$$

$$P_{in} = 1.608.519,9 \text{ watt}$$

Daya input untuk frekuensi 42,5 Hz adalah sebesar 1.608.519,9 watt

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

$$\eta = \frac{1.289}{1.608} 100\%$$

$$\eta = 80,16\%$$

Setelah dilakukan perbandingan daya input dan daya output efisiensi yang ada pada motor sebesar 80,16%

$$P_{in} = \sqrt{3} V.I \cos\phi$$

$$P_{in} = \sqrt{3} \cdot 5280 \cdot 175 \cdot 0,89$$

$$P_{in} = 1.424.369,3 \text{ watt}$$

Daya input untuk frekuensi 40 Hz adalah sebesar 1.424.369,3 watt

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

$$\eta = \frac{1.075}{1.424} 100\%$$

$$\eta = 75,5\%$$

Setelah dilakukan perbandingan daya input dan daya output efisiensi yang ada pada motor sebesar 75,5%

$$P_{in} = \sqrt{3} V \cdot I \cos\phi$$

$$P_{in} = \sqrt{3} \cdot 4950 \cdot 164 \cdot 0,89$$

$$P_{in} = 1.251.410,17 \text{ watt}$$

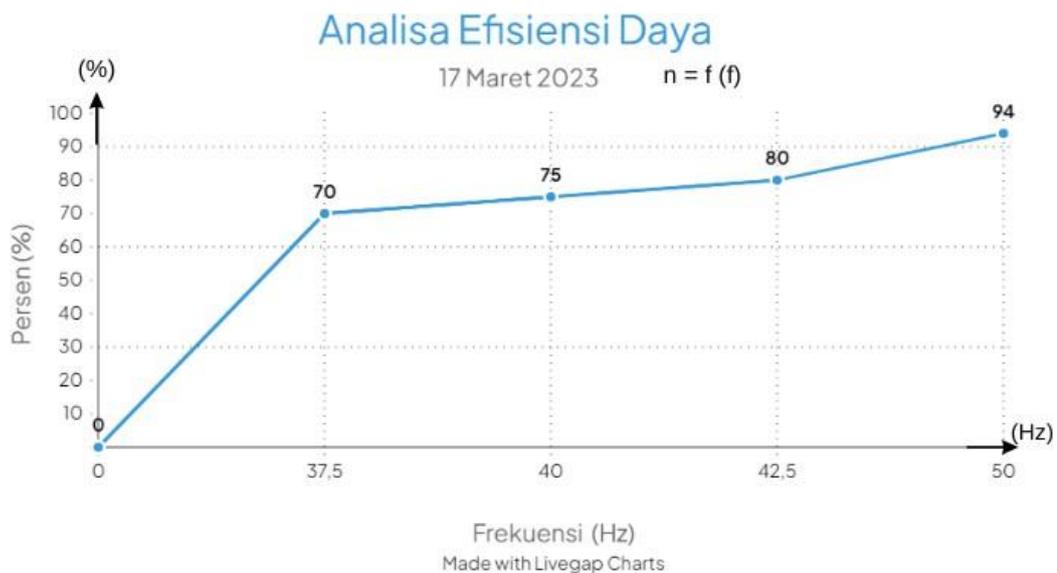
Daya input untuk frekuensi 37,5 Hz adalah sebesar 1.251.410,17 watt

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

$$\eta = \frac{885}{1.251} 100\%$$

$$\eta = 70,74\%$$

Setelah dilakukan perbandingan daya input dan daya output efisiensi yang ada pada motor sebesar 70,74%

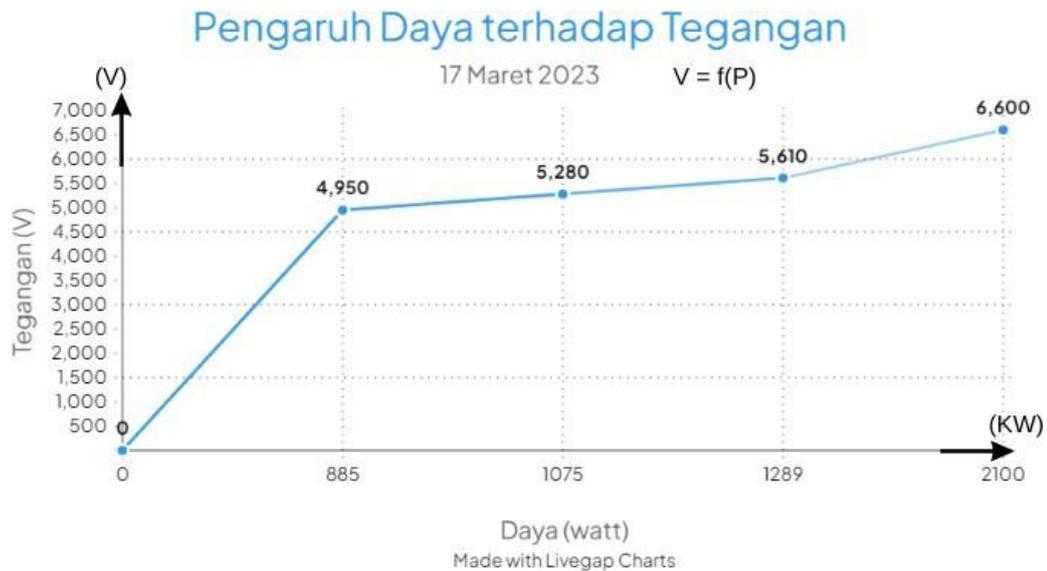


Gambar 4. 4 Analisis Efisiensi Daya

Dari grafik di atas dapat dilihat hubungan antara perubahan frekuensi terhadap perubahan efisiensi daya pada motor induksi.

i. **Grafik Perbandingan Daya terhadap Tegangan**

Dari gambar dibawah, menunjukkan hubungan antara daya dengan tegangan terhadap motor induksi.



Gambar 15. Pengaruh Daya Terhadap Tegangan

Bedasarkan hasil grafik dapat dilihat bahwa setiap pengaruh tegangan sebanding dengan kenaikan daya pada motor induksi.

d) Grafik Perubahan Daya Terhadap Putaran

Dari gambar dibawah menunjukkan hubungan antara perubahan daya motor terhadap putaran yang dihasilkan untuk motor induksi.



Gambar 16. Pengaruh Daya Terhadap Putaran

Bedasarkan hasil dari grafik dapat dilihat bagaimana pengaruh daya terhadap putaran yang dihasilkan untuk motor induksi.

V. SIMPULAN

Adapun kesimpulan yang didapat dari analisis perhitungan yang telah dilakukan oleh penulis adalah sebagai berikut :

1. Variasi perubahan frekuensi merubah kecepatan. Frekuensi memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap perubahan kecepatan 42,5 Hz menghasilkan kecepatan sebesar 2.550 RPM, Frekuensi 40 Hz menghasilkan kecepatan sebesar 2.400 RPM, Frekuensi 37,5 Hz menghasilkan kecepatan sebesar 2.250 RPM.
2. Variasi perubahan kecepatan terhadap torsi. Perubahan kecepatan sangat mempengaruhi torsi yang dihasilkan. Semakin rendah frekuensi maka semakin rendah torsi yang dihasilkan.
3. Perubahan frekuensi mempengaruhi efisiensi daya yang dihasilkan. Semakin rendah frekuensi maka semakin rendah efisiensi daya yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Z., Priangkoso, T., & Darmanto, D. Electric Motor Performance Testing 3 Phase Ac With 3 HP Power Using Electric Generator Loading. MOMENTUM Scientific Magazine, 9(1) (2013).[1]
- Yoki, R., Fauzi. (2017). Design of Soft Starting in 3 Phase Induction Motors Using Atmega328 Microcontroller. Ten Institute of Technology November(2017).[2]
- Haryanto. (2014). Making Inverter Modules as Rotational Speed Control Induction Motor Introduction Research Methodology (2014).[3]
- A. Kurnia Pratama, E. Zondra, and H. Yuwendius, "Motor Efficiency Analysis Three Phase Induction Due to Voltage Changes" J. Sain, Energy, Teknol Ind, vol 5, no. 1, pp. 35-43, 2020.[4]
- N. Evalina and A.A. Zulfikar, "Induction Motor Rotation Speed Regulation 3 Phases of Using a Programmable Logic Controller" J electotechnol., vol 3 no. 2 pp. 73-80, 2018[5]
- J. Steven, (2021) "Application of Soft Starter on Displacement Pump (411P019) Fiberline 1 At PT. Riau Mainstay Pulp and Paper" University of North Sumatra.
- W.B. Reka (2022) "Power Efficiency Analysis of 3 Phase Squirrel Cage Induction Motor 250 KW with inverter as speed controller at PT. Socimas"[6]
- F. Septianto., "Analysis of the Decrease in Efficiency of Induction Motors Due to Defects in Cage Ball Bearing" pp 397-405, 2015[7]
- R. Harahap and S. Nofriadi, "Comparative Analysis of Efficiency and Torque with Using the Tapping Method Parallel to the Brush Shift Method On Short Compound Direct Current Motors With Auxiliary Poles," J. Electr. Technol., vol. 4, no. 3, pp. 105-111, 2019[8]
- S. Zainal Abidin, Adam, "CHARACTERISTICS OF THE TORQUE SPEED CURVE AND WORKING FACTORS OF DYNAMIC AND AC ELECTRIC MACHINE PROTOTYPES STATIC WITH EQUIVALENT CIRCUIT MODELING," SNITT Balik Papan State Polytechnic, no. ISBN:978-602-51450-1-8, pp. 4-9, 2018.[9]
- Nasution, Syupriadi, Elite Electrical Scientific Journal "Inverter working system analysis for changing the speed of a three-phase induction motor as a robot drive" vol.3 no 2 : 139-143. [10]