

PENERAPAN VARIABLE FREQUENCY DRIVE PADA MOTOR FUEL SCREW FEEDER UNTUK BAHAN BAKAR PADA SISTEM BOILER DI PT. LONTAR POPYRUS PULP & PAPER INDUSTRY

Gomgom⁽¹⁾, Ishak Effendi⁽²⁾

Abstrak : Sistem pemasukan bahan bakar merupakan salah satu sistem yang penting dalam sebuah instalasi pembangkit tenaga untuk mengatur kapasitas pemakaian bahan bakar sehingga proses pembakaran berjalan dengan baik. Proses pembakaran yang menggunakan bahan bakar batubara sering mengalami kendala seperti terjadinya pemanpatan pada daerah saluran akibat terbakarnya batubara secara dini pada pipa saluran sebelum masuk ke ruang bakar. Salah satu alternatif yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan fuel feeder tipe ulir. Sistem pemasukan bahan bakar tipe ulir pada dasarnya memindahkan batubara sehingga dapat bergerak mengikuti ulir dengan kecepatan tertentu. Feeder dibuat dari nilon pejal dengan dimensi antar ulir 20 mm dan panjang 300 mm. Dengan kapasitas 30 ton/jam. Feeder dilengkapi dengan water jacket pada pipa saluran. Putaran motor divariasikan pada 300 Rpm – 1500 Rpm. Dari hasil penelitian didapatkan laju aliran batubara rata-rata untuk kecepatan 300 Rpm sebesar 1 ton/jam, sedangkan untuk kecepatan 1500 Rpm sebesar 30 ton/jam.

Kata kunci : Boiler, Bahan bakar, VFD (*Variable Ferequency Drive*)

Abstract : Fuel intake system is one of the important system in a power generation plant to regulate fuel capacity so that the combustion process goes well . Combustion processes using fuels such as coal often have constraints on the occurrence pemanpatan channel region due to the burning of coal at an early stage in the pipeline before entering the combustion chamber . One alternative that is used in this research is to use fuel screw type feeder . Fuel intake system basically move the screw type of coal that can move with speed to follow a particular thread . Feeder is made of nylon threaded solid with dimensions between 20 mm and length of 300 mm . With a capacity of 30 tons / hour . Feeder equipped with a water jacket on the pipeline . Varied motor rotation at 300 rpm - 1500 rpm . From the results, the coal flow rate to the average speed of 300 rpm for 1 ton / hour , while the speed of 1500 rpm at 30 tons / hour .

Keyword : Boiler, Fuel, VFD (*Variable Ferequency Drive*)

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Sebagaimana kita ketahui, pada masa sekarang ini perindustrian di negara berkembang seperti Indonesia khususnya, mengalami perkembangan yang cukup pesat, baik pada perindustrian skala besar maupun

kecil. Sejalan dengan perkembangan industri tersebut kebutuhan akan motor - motor listrik meningkat pula sesuai dengan kebutuhan pasar. Adapun teknik pengaturan kecepatan putar motor induksi ini dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu :

¹. Alumni Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro Universitas Tridnanti Palembang

². Dosen Fakultas Teknik Universitas Tridnanti Palembang

1. Mengubah Jumlah Kutub Motor

Karena, $N_s = \frac{120 \times f}{p}$ maka perubahan jumlah kutub (p) atau frekuensi (f) akan mempengaruhi putaran. Jumlah kutub dapat diubah dengan merencanakan kumparan stator sedemikian rupa sehingga dapat menerima tegangan masuk pada posisi kumparan yang berbeda – beda. Biasanya diperoleh 2 perubahan kecepatan sinkron dengan mengubah jumlah kutub dari 2 menjadi 4.

2. Mengubah Frekuensi Jala – Jala

Pengaturan putaran motor induksi dapat dilakukan dengan mengubah – ubah besar frekuensi jala – jala. Hanya saja untuk menjaga keseimbangan kerapatan fluks, perubahan tegangan harus dilakukan bersamaan dengan perubahan frekuensi. Namun, permasalahannya adalah bagaimana mengatur frekuensi dengan cara yang efektif dan ekonomis.

3. Mengatur Tegangan Jala – Jala

Dapat diketahui bahwa kopel sebanding dengan pangkat dua tegangan yang diberikan. Oleh karenanya pengaturan tegangan jala- jala juga berpengaruh terhadap kecepatan putar motor. Cara ini hanya menghasilkan pengaturan putaran yang terbatas (daerah pengaturan sempit) selain itu juga torsi motor tidak maksimal.

4. Pengaturan Tahanan Luar

Tahanan luar motor induksi rotor kumparan dapat diatur dengan demikian dihasilkan karakteristik torsi kecepatan yang berbeda – beda. Putaran akan berubah dari waktu ke waktu dengan bertambahnya tahanan luar yang dihubungkan ke rotor.

Dewasa ini, kemajuan teknologi dibidang Elektronika Daya begitu pesatnya, metode -

metode diatas kini telah tergantikan oleh penggunaan komponen elektronika daya seperti *variable frequency drive*. Dari latar belakang permasalahan tersebut penulis mengangkat sebuah judul “Penerapan *Variable Frequency Drive* Pada Motor Fuel Screw Feeder Untuk Bahan Bakar Pada Sistem Boiler Di PT. LONTAR POPYRUS PULP & PAPER INDUSTRY”

1.2 Batasan Masalah

Agar pembahasan penelitian ini tidak terlalu luas dan mengembang maka perlu adanya pembatasan masalah, sesuai dengan judul tugas akhir ini “Penerapan *Variable Frequency Drive* Pada Motor Fuel Screw Feeder Untuk Bahan Bakar Pada Sistem Boiler Di PT. LONTAR POPYRUS PULP & PAPER INDUSTRY “ maka pembahasan hanya meliputi :

- Motor Induksi 3 fasa dengan kapasitas daya 45 kw, 88 A, 1485 rpm.
- Pembahasan hanya difokuskan pada prinsip kerja dan analisis *variable frequency drive* sebagai pengontrol kecepatan putar motor. Dengan demikian dapat diketahui berapa besarnya signal analog (AO) yang dikeluarkan dari *variable frequency drive* sehingga frequency pada motor berubah menyebabkan kecepatan putar motor berubah
- Keunggulan *variable frequency drive* dibanding alat pengontrol kecepatan motor induksi lainnya.
- Tidak membahas mengenai harmonisasi atau permasalahan yang timbul dan usulan perbaikan (solusi) sistem pemakaian *variable frequency drive* secara umum ataupun khusus.

II. LANDASAN TEORI

2.1. Power Plant

Sistem Pengaturan yang digunakan pada power plant Di PT. LONTAR POPYRUS PULP & PAPER INDUSTRY ini menggunakan sistem pengaturan Loop tertutup, dimana air yang digunakan untuk beberapa proses merupakan putaran air yang sama, hanya perlu ditambahkan jika memang level yang ada kurang dari set pointnya. Bentuknya saja yang berubah, pada level tertentu berwujud air, tetapi pada level yang lain berwujud uap.

2.1.1 Boiler

Dalam power plant, energi secara terus menerus diubah dari satu bentuk ke bentuk lain untuk menghasilkan listrik. Komponen yang mengawali perubahan dan pengaliran energi disebut boiler. Definisi boiler sendiri sebagai suatu komponen pada power plant adalah suatu bejana tertutup yang secara efisien mampu mengubah air menjadi steam dengan bantuan panas dari proses pembakaran batubara. Jika dioperasikan dengan benar, boiler secara efisien dapat mengubah air dalam volume yang besar menjadi steam yang sangat panas dalam volume yang lebih besar lagi. Jenis boiler adalah *Drum Type Boiler*, *Drum Type Boiler* yang efisien dan aman sangat tergantung pada sirkulasi air yang konstan di beberapa komponen steam circuit, diantaranya *Economizer*, *Steam Drum* dan *Boiler Water Circulating Pump*.

2.2. MOTOR INDUKSI 3 FASA

2.2.1 Prinsip Kerja

Motor induksi adalah alat listrik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Listrik yang diubah adalah listrik 3 fasa. Motor induksi sering juga disebut motor tidak serempak atau motor asinkron. Ada beberapa prinsip kerja motor induksi :

1. Apabila sumber tegangan tiga fasa dipasang pada kumparan stator akan timbul medan putar dengan kecepatan

$$N_s = \frac{120 \times f}{p} \dots\dots\dots (1)$$

2. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor
3. Akibatnya pada kumparan rotor timbul tegangan induksi (ggl) sebesar $E_{2s} = 4.44 \times f_2 \times N_2 \dots\dots\dots (2)$
 E_{2s} adalah tegangan induksi pada saat rotor berputar
4. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian yang tertutup maka ggl (E) akan menghasilkan arus (I)
5. Adanya arus (I) didalam medan magnet menimbulkan gaya (F) pada rotor
6. Bila kopel mula yang dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor yang cukup besar untuk memikul kopel beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator
7. Seperti yang dijelaskan pada point 3 tegangan induksi timbul karena terpotongnya batang konduktor (rotor) oleh medan putar stator. Artinya agar tegangan terinduksi diperlukan adanya perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator (N_s) dengan kecepatan berputar rotor (N_r)
8. Perbedaan kecepatan antara N_s dan N_r disebut slip (S) dinyatakan dengan :

$$S = \frac{(N_s - N_r)}{N_s} \times 100 \% \dots\dots\dots (3)$$

9. Bila $N_s = N_r$ tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak mengalir pada kumparan jangkar rotor dengan demikian tidak dihasilkan kopel. Kopel akan ditimbulkan apabila N_r lebih kecil dari N_s

Berubah – ubahnya kecepatan motor induksi (N_r) mengakibatkan berubahnya harga slip dari 100 % pada saat start sampai 0 %

pada saat motor diam ($N_r = N_s$). Hubungan slip dengan frekuensi dapat dilihat sebagai berikut:

$$N_s = \frac{120 \cdot f_1}{p} \text{ atau } f_1 = \frac{p \cdot N_s}{120} \dots (4)$$

Dimana :

N_s = Medan Putar Stator

F_1 = Frekuensi Jala – Jala

P = Jumlah Kutub

Pada rotor berlaku hubungan :

$$f_2 = \frac{p(n_s - n_r)}{120} \dots (5)$$

f_2 = frekuensi motor atau

$$f_2 = \frac{p \cdot n_s}{n_s} \times \frac{n_s - n_r}{n_s} \dots (6)$$

Karena $S = \frac{n_s - n_r}{n_s}$ dan $f_1 = \frac{p \cdot n_s}{120}$ maka :

$$f_2 = f_1 \cdot S \dots (7)$$

Pada saat start $S = 100 \%$, $F_2 = F_1$

Demikianlah terlihat bahwa pada saat start dan rotor belum berputar frekuensi pada stator dan rotor sama. Dalam keadaan rotor berputar frekuensi arus rotor dipengaruhi oleh slip ($F_2 = SF_1$). Karena tegangna induksi dan reaktansi kumparan rotor merupakan fungsi frekuensi, maka harganya turut pula dipengaruhi oleh slip

$$E_2 = 4.44 \times F_2 \times N_2 \dots (8)$$

$$E_{2s} = 4.44 \times F_1 \times N_2 (2.9)$$

Dimana :

E_2 = tegangan induksi pada saat start

E_{2s} = tegangan induksi pada saat motor berputar

2.3 VARIABLE FREQUENCY DRIVE

VFD adalah sebuah peralatan yang berfungsi untuk mengatur kecepatan motor AC 3 Phase dengan cara merubah frekuensinya. Fungsi dari VFD adalah untuk mengontrol

energi dari supply utama ke proses melalui shaft motor listrik, dengan cara mengontrol dua besaran, yaitu torque dan kecepatan. VFD banyak diperlukan dalam industri. Jika sebelumnya banyak dipergunakan system mekanik, kemudian beralih ke motor slip/pengereman maka saat ini banyak menggunakan semikonduktor. Tidak seperti softstarter yang mengolah level tegangan, VFD menggunakan frekuensi untuk mengatur speed motor. Seperti diketahui, pada kondisi ideal (tanpa slip) Jadi dengan memainkan perubahan frekuensi pada motor, speed akan berubah.

III VARIABLE FREQUENCY DRIVE

3.1. Pengertian Variable Frequency Drive

VFD adalah sebuah peralatan yang berfungsi untuk mengatur kecepatan motor AC 3 Phase dengan cara merubah frekuensinya. Fungsi dari VFD adalah untuk mengontrol energi dari supply utama ke proses melalui shaft motor listrik, dengan cara mengontrol dua besaran, yaitu torque dan kecepatan. VFD banyak diperlukan dalam industri. Jika sebelumnya banyak dipergunakan system mekanik, kemudian beralih ke motor slip/pengereman maka saat ini banyak menggunakan semikonduktor. Tidak seperti softstarter yang mengolah level tegangan, VFD menggunakan frekuensi untuk mengatur speed motor. Seperti diketahui, pada kondisi ideal (tanpa slip) Jadi dengan memainkan perubahan frekuensi pada motor, speed akan berubah.

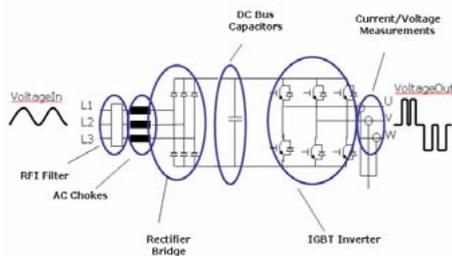
3.2 Prinsip kerja Variable Frequency Drive (VFD)

Prinsip kerja VFD yang sedehana adalah :

1. Tegangan yang masuk dari jala jala 50 Hz dialirkan ke board Rectifier/ penyearah DC, dan ditampung ke bank capacitor. Jadi dari AC di jadikan DC.

2. Tegangan DC kemudian diumpankan ke board inverter untuk dijadikan AC kembali dengan frekuensi sesuai kebutuhan. Jadi dari DC ke AC yang komponen utamanya adalah Semikonduktor aktif seperti IGBT. Dengan menggunakan frekuensi carrier (bisa sampai 20 kHz), tegangan DC dicacah dan dimodulasi sehingga keluar tegangan dan frekuensi yang diinginkan.

Untuk lebih jelasnya kita lihat diagram blok variable frequency drive dibawah ini :



Gambar (1) Diagram Blok Variable Frequency Drive

3.3 Penyearah Gelombang Penuh

Rangkaian power supply digunakan untuk mengubah tegangan bolak-balik atau AC menjadi tegangan searah atau DC. Untuk mengubah tegangan tersebut digunakan penyearah yang disebut Dioda.

3.3.1 Dioda

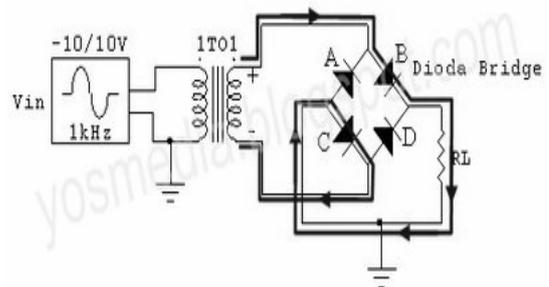
Dioda adalah komponen sambungan $-pn$ dua terminal dan sebuah sambungan $-pn$ dibentuk dari penumbuhan pencampuran, difusi dan epiktasial. Teknik kendali modern dalam proses difusi dan epiktasial mengizinkan karakteristik komponen yang diinginkan.

3.4 Penyearah Gelombang Bridge dengan Menggunakan 2 Dioda

Pada penyearah gelombang ini digunakan dua buah dioda guna mendapatkan gelombang output yang penuh. Pada penyearah ini gelombang yang dihasilkan sama dengan

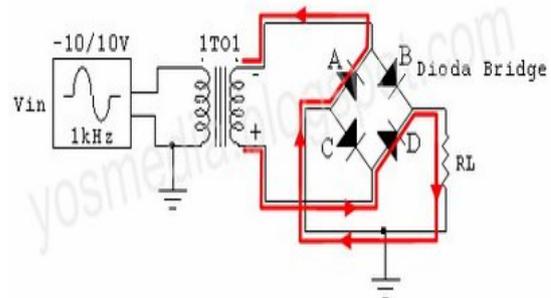
penyearah jembatan. Penyearah gelombang penuh dengan jembatan dioda (dioda bridge).

Pada dioda bridge, hanya ada 2 dioda saja yang menghantarkan arus untuk setiap siklus tegangan AC sedangkan 2 dioda lainnya bersifat sebagai isolator pada saat siklus yang sama. Untuk memahami cara kerja dioda bridge, perhatikanlah kedua gambar berikut.



Gambar (2) Cara Kerja Dioda Saat Siklus Positif

Saat siklus positif tegangan AC, arus mengalir melalui dioda B menuju beban dan kembali melalui dioda C. Pada saat yang bersamaan pula, dioda A dan D mengalami reverse bias sehingga tidak ada arus yg mengalir atau kedua dioda tersebut bersifat sebagai isolator.



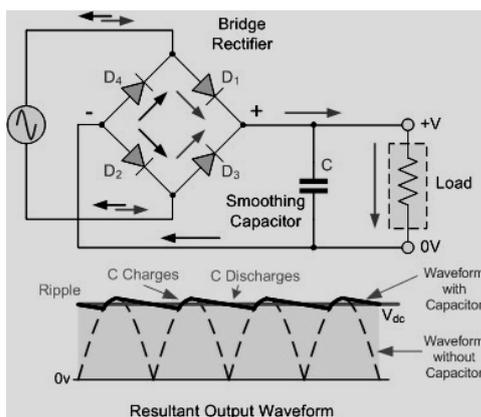
Gambar (3) Cara Kerja Dioda Saat Siklus Negatif

Sedangkan pada saat siklus negatif tegangan AC, arus mengalir melalui dioda D menuju beban dan kembali melalui dioda A. Karena dioda B dan C mengalami reverse bias maka arus tidak dapat mengalir pada kedua dioda ini. Kedua hal ini terjadi berulang secara

terus menerus hingga didapatkan tegangan beban yang berbentuk gelombang penuh yang sudah disearahkan (tegangan DC). Jembatan dioda (dioda bridge) tersedia dalam bentuk 1 komponen saja atau pun bisa dibuat dengan menggunakan 4 dioda yang sama karakteristiknya. Yang harus diperhatikan adalah besar arus yang dilewatkan oleh dioda harus lebih besar dari besar arus yang dilewatkan pada rangkaian.

3.5 Penyearah Dilengkapi Filter Kapasitor

Filter kapasitor berfungsi untuk meratakan faktor ripple yang terjadi pada tegangan AC yang disearahkan. Tegangan keluaran yang dihasilkan oleh filter sudah tidak mempunyai ripple dan rata. Filter ini dibangun dengan cara mengkombinasikan resistor dengan kapasitor secara paralel. Dari dioda bridge tegangan yang masuk ke kapasitor disaring atau difilter dengan harapan tegangan keluarannya lebih murni atau tanpa ripple. Agar tegangan penyearahan gelombang AC lebih rata dan menjadi tegangan DC maka dipasang filter kapasitor pada bagian output rangkaian penyearah seperti terlihat pada gambar berikut.



Gambar (4) Bagian Output Rangkaian Penyearah

3.6 Transistor

Transistor adalah suatu bahan semikonduktor yang merupakan hasil

perkembangan dari dioda semikonduktor. Ada dua jenis bahan transistor yaitu jenis silikon dan germanium yang terdiri dari tiga daerah dengan isi tak murnian yang berbeda. Transistor ini dibentuk dari dua buah dioda yang mempunyai kutub yang sesuai dengan jenisnya. Ketiga daerah tersebut adalah basis, kolektor dan emitor. Transistor digunakan dalam rangkaian untuk memperkuat isyarat lemah pada maksimum diubah menjadi isyarat yang kuat pada keluaran. Pada masa ini transistor ada dalam setiap peralatan elektronika. Jika memahami dasar kerja transistor maka akan lebih mudah mempelajari cara kerja berbagai macam peralatan elektronika. Transistor ada dua macam yaitu transistor dwi kutub (bipolar) dan transistor efek medan (field effect transistor - FET)

3.7 Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT)

IGBT adalah piranti semikonduktor yang setara dengan gabungan sebuah transistor bipola (BJT) dan sebuah transistor efek medan (MOSFET). Jenis komponen baru yang berfungsi sebagai komponen saklar untuk aplikasi daya ini muncul sejak tahun 1980-an. IGBT merupakan voltage control power transistor. IGBT secara umum memiliki kecepatan yang lebih tinggi dari BJT walaupun tidak secepat transistor. Akan tetapi IGBT menyediakan karakteristik drive dan keluaran yang lebih superior dibandingkan dengan BJT. IGBT lebih cocok digunakan untuk aplikasi pada tegangan tinggi, arus yang besar dan frekuensi diatas 20 kHz.

Sesuai dengan namanya komponen baru ini merupakan komponen yang menggabungkan struktur dan sifat-sifat dari kedua jenis transistor tersebut diatas BJT dan MOSFET. Dengan kata lain IGBT mempunyai sifat kerja yang menggabungkan keunggulan dari sifat-sifat kedua jenis transistor tersebut.

Terminal gate dari IGBT sebagai terminal kendali juga mempunyai struktur bahan penyekat (insulator) sebagaimana pada MOSFET.

3.8 Keunggulan *variable frequency drive*

Keunggulan *variable frequency drive* dibanding alat pengontrol kecepatan motor induksi lainnya adalah sbb :

1. Energy savings (hemat energi)

Energi dapat dihemat apabila kecepatan motor dapat diatur sesuai kebutuhan peralatan. Energi dapat dihemat apabila kecepatan motor dapat diatur sesuai kebutuhan peralatan. Sebuah peralatan beroperasi setengah dari kecepatan nominalnya hanya membutuhkan 12.5% daya nominal

2. Optimalisasi proses

Pengaturan kecepatan dalam proses produksi dapat meningkatkan kualitas hasil produksi dan mengurangi waste.

3. Pengoperasian mesin lebih halus

Bisa menghindari efek kejut saat start dan stop, karena dapat mengatur akselerasi dan deselerasi.

4. Mengurangi Perawatan

Karena VFD mengurangi efek kejut dari peralatan maka otomatis life time dari peralatan tersebut juga bertambah.

3.9 Parameter – Parameter Yang Digunakan

Untuk mengetahui berapa besarnya signal analog (AO) yang dikeluarkan dari *variable frequency drive* sehingga frequency pada motor berubah menyebabkan kecepatan putar pada motor berubah maka digunakan parameter – parameter di bawah ini :

1. AO (Analog Output) adalah signal analog yang dikeluarkan ke I/O card yang bernilai 4 – 20 mA. Dengan nilai span 16 mA

Nilai span adalah Nilai range atas – Nilai range bawah

2. Set Point adalah besar proses variable yang dikehendaki. Sebuah controller akan selalu berusaha menyamakan controlled variable dengan setpoint yang bernilai 0 % - 100 %

3. Frequency reference adalah nilai frequency yang dikehendaki frequency maksimum = 50 Hz dan frequency minimum = 10 Hz

4. Name plate motor dengan spesifikasi 1500 Rpm

Dari penjelasan parameter-parameter diatas maka didapat persamaan :

$$AO = \frac{\text{speed reference}}{\text{speed nominal}} \times (\text{span}) + 4 \dots\dots (9)$$

Dimana :

AO = Signal Analog (mA)

Span = Nilai range atas – Nilai range bawah (mA)

4 = Nilai range bawah (mA)

Speed Reference = Nilai yang didapat dari frequency reference. Frequency min = 10 Hz dan Frequency max = 50 Hz

IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Motor

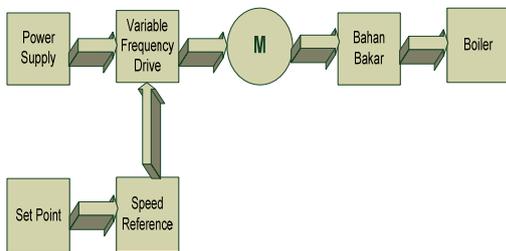
Motor yang dibahas adalah motor induksi 3 fasa. Dengan Tag Number : W56M048 dan Function Location : Motor Fuel Screw Feeder. Feeder dibuat dari nilon pejal dengan dimensi antar ulir 20 mm dan panjang 300 mm. Dengan kapasitas bahan bakar 30 Ton/jam. Feeder dilengkapi dengan water jacket pada pipa saluran Aliran bahan bakar dalam Boiler harus cukup lambat untuk memberikan cukup waktu untuk pembakaran sempurna, kalau tidak bahan yang mudah terbakar akan terkumpul dalam ketel atau cerobong dan menimbulkan bahaya ledakan. Bahaya ledakan dicegah dengan perancangan

Boiler yang tepat, Boiler harus cukup besar untuk memperlambat aliran udara, sehingga sebelum meninggalkan Boiler bahan bakar dapat terbakar dengan sempurna.

4.2 DIAGRAM BLOK

Tujuan dari diagram blok dibawah ini adalah untuk mengetahui seberapa besar speed reference atau signal analog (AO) yang dikeluarkan dari *variable frequency drive* sehingga *frequency* pada motor berubah menyebabkan kecepatan putar motor berubah.

4.2.1 Diagram Blok rangkaian kontrol VFD



Gambar (5) Diagram Blok Rangkaian kontrol VFD

4.3 Perhitungan

Untuk mendapatkan nilai speed reference dengan menggunakan persamaan (1) maka :

1. Pada saat set point 0 % dengan frequency reference 10 Hz maka nilai speed reference didapat :

$$N_s = \frac{120 \times 10}{4} = 300 \text{ rpm}$$

2. Pada saat set point 25 % dengan frequency reference 20 Hz maka nilai speed reference didapat :

$$N_s = \frac{120 \times 20}{4} = 600 \text{ rpm}$$

3. Pada saat set point 50 % dengan frequency reference 30 Hz maka nilai speed reference didapat :

$$N_s = \frac{120 \times 30}{4} = 900 \text{ rpm}$$

4. Pada saat set point 75 % dengan frequency reference 40 Hz maka nilai speed reference didapat :

$$N_s = \frac{120 \times 40}{4} = 1200 \text{ rpm}$$

5. Pada saat set point 100 % dengan frequency reference 50 Hz maka nilai speed reference didapat :

$$N_s = \frac{120 \times 50}{4} = 1500 \text{ rpm}$$

Untuk mendapatkan signal analog (AO) yang dikeluarkan dari *variable frequency drive* dengan menggunakan persamaan (9) maka :

1. Pada saat speed reference 300 maka nilai AO didapat :

$$AO = \frac{300 \text{ rpm}}{1500 \text{ rpm}} \times (16 \text{ mA}) + (4 \text{ mA})$$

$$AO = 0,4 \times (16) + (4)$$

$$AO = 7,2 \text{ mA}$$

2. Pada saat speed reference 600 maka nilai AO didapat :

$$AO = \frac{600 \text{ rpm}}{1500 \text{ rpm}} \times (16 \text{ mA}) + (4 \text{ mA})$$

$$AO = 0,4 \times (16) + (4)$$

$$AO = 10,4 \text{ mA}$$

3. Pada saat speed reference 900 maka nilai AO didapat :

$$AO = \frac{900 \text{ rpm}}{1500 \text{ rpm}} \times (16 \text{ mA}) + (4 \text{ mA})$$

$$AO = 0,6 \times (16) + (4)$$

$$AO = 13,6 \text{ mA}$$

4. Pada saat speed reference 1200 maka nilai AO didapat :

$$AO = \frac{1200 \text{ rpm}}{1500 \text{ rpm}} \times (16 \text{ mA}) + (4 \text{ mA})$$

$$AO = 0,8 \times (16) + (4)$$

$$AO = 16,0 \text{ mA}$$

5. Pada saat speed reference 1500 maka nilai AO didapat :

$$AO = \frac{1500 \text{ rpm}}{1500 \text{ rpm}} \times (16 \text{ mA}) = (16 \text{ mA})$$

$$AO = 1 \times (16) = (16)$$

$$AO = 20 \text{ mA}$$

4.4 Pembahasan

Dari hasil perhitungan signal analog (AO) yang dikeluarkan dari *variable frequency drive* dari set point 0% - 100% maka didapat nilai signal analog (AO), frequency reference, Speed reference dan bahan bakar.

Tabel (1) nilai signal analog (AO), Speed reference dan bahan bakar

No.	Set Point (%)	Frequency Reference (Hz)	Nilai Signal Analog (mA)	Speed Reference (Rpm)	Bahan Bakar (Ton/Jam)
1.	0 %	10 Hz	7,2 mA	300 rpm	1 ton/jam
2.	25 %	20 Hz	10,4 mA	600 rpm	7.5 ton/jam
3.	50 %	30 Hz	13,6 mA	900 rpm	15 ton/jam
4.	75 %	40 Hz	16,8 mA	1200 rpm	22.5 ton/jam
5.	100 %	50 Hz	20 mA	1500 rpm	30 ton/jam

Dari hasil perhitungan nilai signal analog (AO), Speed reference dan bahan bakar pada masing – masing set point maka dapat dibahas sebagai berikut :

1. Pada tabel memperlihatkan speed reference, nilai speed reference berbeda pada masing – masing set point. Pada saat point 0% nilai speed reference rendah 300 rpm, ini disebabkan karena nilai frequency reference rendah 10 Hz. Sedangkan Pada saat point 100% nilai speed reference tinggi 1500 rpm, ini disebabkan karena nilai frequency reference rendah 50 Hz
2. Pada tabel memperlihatkan nilai signal analog (AO), nilai signal analog (AO) berbeda pada masing-masing speed reference. Pada saat speed reference 300 rpm nilai signal analog yang dihasilkan 7,2

mA, Pada saat speed reference 600 rpm nilai signal analog yang dihasilkan 10,4 mA, Pada saat speed reference 900 rpm nilai signal analog yang dihasilkan 13,6 mA, Pada saat speed reference 1200 rpm nilai signal analog yang dihasilkan 16,8 mA sedangkan pada saat speed reference 1500 rpm nilai signal analog yang dihasilkan 20 mA.

3. Pada tabel memperlihatkan nilai signal analog (AO) , Speed reference dan bahan bakar. Pada saat set point 0 % kapasitas bahan bakar lebih sedikit 1 Ton/jam ini disebabkan karena nilai signal analog kecil 7,2 mA.

dengan signal analog yang kecil menyebabkan putaran pada motor menjadi lambat 300 rpm sehingga bahan bakar yang dibawa lebih sedikit. Pada saat set point 10 0 % kapasitas bahan bakar 30 Ton/jam ini disebabkan karena nilai signal analog besar 20 mA dengan signal analog yang besar menyebabkan putaran pada motor menjadi cepat 1500 rpm sehingga bahan bakar yang dibawa lebih banyak.

V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada saat set point 0 % nilai speed reference didapat 300 rpm sedangkan pada saat set point 100 % nilai speed reference didapat 1500 rpm
2. Pada saat set point 0 % nilai signal analog didapat 7,2 mA sedangkan Pada saat set point 100 % nilai signal analog didapat 20 mA

5.2. Saran

Berdasarkan pengalaman penulis selama melakukan penelitian disarankan hal – hal sebagai berikut :

1. Pada saat *frequency* rendah putaran pada motor menjadi lambat dan menyebabkan temperature menjadi tinggi. disarankan pada motor ditambah fan eksternal.
2. Pada saat ingin menghidupkan rangkaian VFD ini beban harus dipasang terlebih dahulu untuk menghindari pembebanan pada salah satu driver.

DAFTAR PUSTAKA

Titon Dutono, *Industrial Electronics Seminar 2000*, Grha ITS Surabaya, Indonesia October 18th – 19th 2000

Zuhal, *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*, PT. Gramedia, Jakarta

Radita arindya, ST. M.T, *Penggunaan Dan Pengaturan Motor Listrik*.

Application manual, *NX Frequency Converters*. Vacon Distributor

S.L. Uppal. Dr, *elektrical power*, published by romesh chander khana, new dehli

Frans Gunterus, *Falsafah Dasar : Sistem Pengendalian Proses*. PT. Gramedia, Jakarta

Acep irwandi, *variable frequency drive sebagai pengatur kecepatan putaran motor induksi 1 fasa dengan menggunakan Insulated-Gate Bipolar Transistor (IGBT)*, alumni universitas tridinanti Palembang, 2008

<http://tugashendra.blogspot.com/2009/04/tugas-makalah-dioda-daya-bab-2.html>, 23 juli 2013

<http://elektronika11c.blogspot.com/2013/05/penyearah-setengah-gelombang-gelombang.html>, 23 juli 2013