

Smart Control Distribusi Air Menggunakan Variable Frequency Drive

Sofyar¹, Eka Firmansyah², Suharyanto³

Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi
Fakultas Teknik UGM

h.sofyar@gmail.com, suharyanto@ugm.ac.id, eka.firmansyah@ugm.ac.id

Abstrak—Penurunan sejumlah energi yang diperlukan pada suatu proses atau sistem dapat membantu menurunkan permintaan kebutuhan energi secara global dan juga membantu lingkungan karena mengurangi penggunaan bahan bakar fosil. Pompa sentrifugal digunakan pada perusahaan air minum untuk proses pengolahan dan pendistribusian air ke konsumen. *Variable frequency drive* menawarkan kontrol secara cerdas untuk pompa sentrifugal tersebut, yang dapat menghemat energi listrik yang diperlukan dalam pengoperasiannya.

Kata kunci—*variable frequency drive, pompa sentrifugal, penghematan energi*

I. PENDAHULUAN

Suatu bagian terbesar dari daya listrik pada sebuah pembangkit dikonsumsi oleh penggerak listrik. Pompa digunakan secara luas pada industri untuk proses pendinginan dan pelayanan pelumasan, mentransfer fluida untuk suatu proses, dan untuk menyediakan gaya gerak dalam sistem hidrolik. Sistem perpompaan sebanyak hampir 20% dari kebutuhan energi listrik dunia dan antara 25-50% dari energi yang digunakan dalam operasi industri [1]. Pompa memiliki dua kegunaan utama: memindahkan cairan dari satu tempat ketempat yang lainnya (misalnya air dari aquifer bawah tanah ketangkai penyimpanan air), dan mensirkulasikan cairan sekitar sistem (misalnya air pendingin atau pelumas yang melewati mesin-mesin dan peralatan) [2]. Pompa submersible merupakan pompa efisien yang prinsip kerjanya sama dengan pompa sentrifugal, dimana impeler yang berputar mengubah energi kinetik menjadi tekanan atau kecepatan yang diperlukan untuk memompa fluida. *Variable frequency drive* (VFD) menawarkan respon yang sangat baik pada sistem pemompaan. Penurunan flow atau aliran dengan VFD, daya yang dihabiskan motor sangat berkurang. Sehingga sejumlah daya yang signifikan dapat dihemat dengan bantuan VFD [1].

II. DASAR TEORI

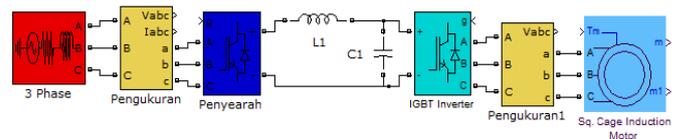
A. Variable Frequency Drive

Di industri, *variable frequency drive* (VFD) biasa dihubungkan dengan inverter. Pengontrol kecepatan ini juga dikenal dengan nama lain seperti, *variable speed drive* (VSD), *adjustable speed drive* (ASD), dan *variable voltage variable frequency drive* (VVVF) [3]. VFD adalah peralatan yang

digunakan untuk memvariasikan kecepatan dari motor induksi 3-phase. Dia bekerja mengatur frekuensi dari suplai daya ke motor.

Kecepatan motor induksi berbanding langsung dengan frekuensi suplai. Sehingga perubahan frekuensi, kecepatan sinkron dan kecepatan motor dapat dikontrol dibawah dan diatas kecepatan beban penuh normal [4]. Kontrol frekuensi variabel dibawah nilai frekuensi umumnya dilakukan dengan penurunan tegangan phase mesin, bersama-sama dengan frekuensi pada suatu cara yang mana fluk dijaga konstan. Dengan demikian kontrol frekuensi variabel menggunakan peralatan elektronika daya untuk mengubah frekuensi dari daya input ke motor, dengan demikian mengontrol kecepatan motor.

Tiga bagian dasar dari VFD, yaitu: *rectifier*, *dc bus*, dan *inverter* [4].



Gambar 1. Skema Umum Rangkaian Daya Inverter

Gambar 1, memperlihatkan tiga bagian dasar dari VFD dimana:

- **Rectifier/Penyearah:** Berfungsi untuk mengubah tegangan AC 3-phase ke DC. Tegangan AC 3-phase dimasukan kebagian rectifier yang terdiri dari sekelompok diode. Suatu gelombang penuh, rectifier solid-state mengubah daya 50 Hz dari standard 380, 460, 575 Volt atau suplai kebutuhan lebih tinggi ke tegangan DC yg tetap atau yg dapat diatur.
- **DC Bus atau Rangkaian Intermediate (DC Link):** Menggunakan Kapasitor dan reaktor DC untuk menjadikan ripple tegangan DC menjadi lebih stabil.
- **Inverter:** Inverter mengambil tegangan dari bus DC dan menggunakan pulse width modulation (PWM), mengirim signal yang muncul ke motor sebagai AC.

B. Sistem Pemompaan

Sistem pemompaan bertanggung jawab terhadap hampir 20% kebutuhan energi listrik dunia dan penggunaan energi dalam operasi pabrik industri tertentu 25-50% [14]. Komponen utama dari sistem pemompaan adalah:

- Pompa
- Mesin Penggerak: motor listrik, mesin diesel atau sistim udara
- Pemipaan, digunakan untuk membawa fluida
- Kran, digunakan untuk mengendalikan aliran dalam sistim
- Sambungan, pengendalian dan instrumentasi lainnya
- Peralatan pengguna akhir, yang memiliki persyaratan (misalnya tekanan, aliran) yang menentukan komponen dan susunan sistem pemompaan [5].

Pompa memiliki dua kegunaan utama:

- Memindahkan cairan dari satu tempat ke tempat yang lain (misalnya air dari aquifer bawah tanah ke tangki penyimpanan air)
- Mensirkulasikan cairan sekitar sistem (misalnya air pendingin atau pelumas yang melewati mesin-mesin dan peralatan) [5].

Pompa hadir dalam berbagai ukuran untuk penggunaan yang luas. Pompa-pompa dapat digolongkan menurut prinsip operasi dasarnya seperti pompa dinamik dan pompa pemindahan positif [5].

Pompa dinamik juga dikarakteristikan oleh cara pompa tersebut beroperasi: impeler yang berputar mengubah energi kinetik menjadi tekanan atau kecepatan yang diperlukan untuk memompa fluida. Terdapat dua jenis pompa dinamik:

- Pompa sentrifugal, merupakan pompa yang sangat umum digunakan untuk pemompaan air dalam berbagai penggunaan industri. Biasanya lebih dari 75% pompa yang dipasang di sebuah industri adalah pompa sentrifugal [5].
- Pompa dengan efek khusus, terutama digunakan untuk kondisi khusus dilokasi industri.

Pada prinsipnya, cairan apapun dapat ditangani oleh berbagai rancangan pompa. Jika rancangan pompa digunakan, pompa sentrifugal biasanya yang paling ekonomis diikuti oleh pompa *rotary* dan *reciprocating*.

C. Motor Induksi

Penggunaan motor induksi 3-fasa untuk diaplikasi mesin-mesin telah banyak digunakan pada dunia industri karena mempunyai konstruksi yang sederhana sehingga mudah dalam perawatannya. Kelemahan utama motor induksi 3-fasa adalah arus starting yang cukup tinggi dan torsi awal yang rendah [6].

Motor induksi secara umum dibagi menjadi dua yaitu motor induksi 1- fasa dan motor induksi 3-fasa. Secara prinsip kerja kedua motor ini sama yaitu karena adanya induksi yaitu adanya medan putar pada belitan utama (stator) yang memotong batang-batang rotor sehingga akan timbul induksi pada rotor [6].

Motor induksi 3-fasa bekerja sebagai pengkonversi energi listrik ke energi mekanik yang memberikan torsi elektromagnetik untuk pompa sentrifugal [8].

D. Persamaan

Persamaan yang digunakan pada penelitian ini, adalah:

- Untuk motor induksi [6, 7, 9, 10, 11]
Kecepatan sinkron,

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

dimana, f = frekuensi suplai

p = jumlah kutub

- Penghematan Energi [3, 10, 12]

Potensi penghematan energi dengan pemasangan VFD dapat diketahui dengan menghitung biaya operasional dari motor induksi yang menggerakkan pompa sentrifugal. Dengan mempertimbangkan daya motor induksi (kW), operasi pompa pada kecepatan penuh selama 365 hari dalam setahun, dan 24 jam setiap harinya. Biaya operasional dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{Biaya} = \text{daya (kW)} \times \text{waktu operasi (Jam)} \times \text{biaya energi/kWh} \quad (2)$$

Atau dengan persamaan:

$$\text{Konsumsi energi rata-rata per hari dengan VFD (E1)}$$

$$\begin{aligned} \text{Konsumsi energi rata-rata per hari tanpa VFD (E2)} \\ = \text{daya} \times \text{waktu}_{(24 \text{ Jam})} \\ = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos\theta \times 24 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{Penghematan energi per hari dengan VFD} \\ = E2 - E1 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{Penghematan energi per tahun dengan VFD} \\ = 365 \times (E2 - E1) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{Keuntungan} = \text{penghematan energi per tahun} \\ \text{dengan VFD} \times \text{biaya unit energi} \end{aligned} \quad (6)$$

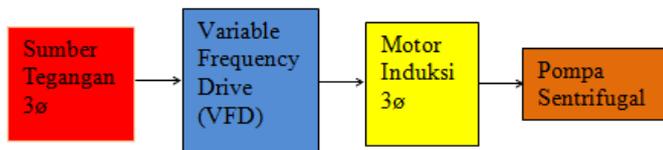
III. METODOLOGI

A. Cara Analisis

Diagram blok pada gambar 2 memperlihatkan cara analisis yang dilakukan.

Pada blok sumber tegangan 3-fasa yaitu tegangan input AC yang berasal dari PLN dengan tegangan fasa ke fasa 380 V dan frekuensi sistem 50 Hz.

Pada blok *variable frequency drive* (VFD) terdiri dari sub bagian, penyearah (rectifier), DC link (bus DC), dan inverter. Pada penyearah tegangan input AC dari sumber tegangan disearahkan menjadi tegangan searah DC oleh penyearah gelombang penuh 3-fasa. Oleh filter tegangan searah tersebut ditapis atau di filter lagi menjadi tegangan DC yang lebih halus. Pada bagian inverter, tegangan searah dari DC link diinputkan ke dalam inverter yang terdiri dari 6 buah IGBT yang merupakan jantung dari inverter tersebut. Keluaran tegangan dari setiap sub bagian dari *variable frequency drive* akan ditampikan dan dianalisis apakah sudah sesuai dengan referensi.



Gambar 2. Diagram Blok Analisis Penelitian

Pada blok motor induksi yaitu motor asinkron atau motor induksi 3-fasa yang akan menerima input dari keluaran inverter dan mengkonversinya menjadi energi mekanik, selanjutnya digunakan untuk menggerakkan pompa sentrifugal. Motor induksi yang digunakan spesifikasinya dapat dilihat pada tabel I.

Pada blok akhir yaitu blok pompa sentrifugal (spesifikasinya dapat dilihat pada tabel II). Sebagaimana diketahui konsumsi air bersih oleh konsumen selalu berubah-ubah, yang mana perubahan ini akan diikuti oleh kerja pompa sentrifugal yang mengikuti perubahannya, ini diindikasikan dengan perubahan tekanan air pada pipa dan kemudian diikuti oleh perubahan kecepatan putar motor induksi. Perubahan kecepatan putar motor induksi ini akan mempengaruhi daya yang dibutuhkan oleh motor tersebut (berdasarkan hukum afinitas) dan selanjutnya hasil dari simulasi ini kemudian dibandingkan antara sistem yang dengan yang tanpa VFD.

TABEL I. SPESIFIKASI MOTOR INDUKSI

N0	Spesifikasi	Keterangan
1.	Tipe	MS 6000

2.	Frequency (Hz)	50
3.	Pole	2
4.	Output (kW)	11
5.	Output (HP)	15
6.	Speed (rpm)	2870
7.	FLC 380V (A)	24,8
8.	Motor Efficiency	82,5
9.	Power Factor 100%	0.83
10.	Diameter (mm)	139,5
11.	Panjang (m)	634
12.	Berat (kg)	45,5

TABEL II. SPESIFIKASI POMPA SENTRIFUGAL

N0	Spesifikasi	Keterangan
1.	Tipe	SP 77-3
2.	Kapasitas Q (m ³ /H)	100
3.	Tekanan p (k Pa)	>250 p < 600
4.	Head H (m)	>22 H < 60
5.	Efisiensi (%)	78

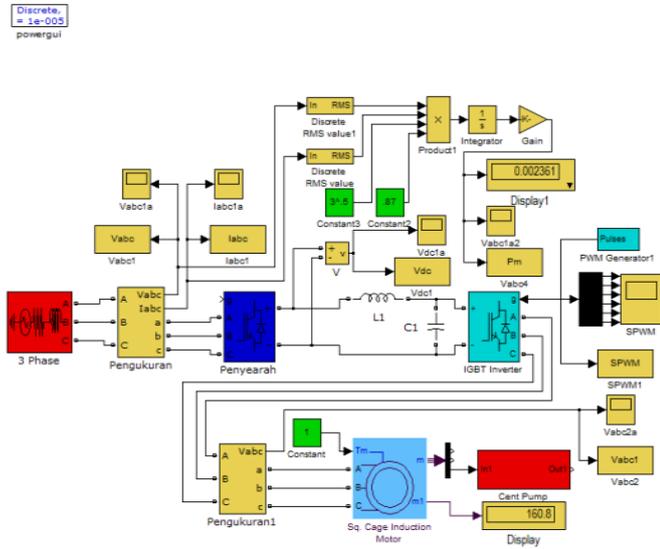
B. Potensi Penghematan

Potensi penghematan dapat dilihat dari jumlah motor listrik yang digunakan, yaitu pada motor yang memungkinkan adanya perubahan kecepatan putaran motor, seperti motor yang digunakan untuk menyalurkan air dari reservoir ke konsumen/pelanggan, karena adanya perubahan kecepatan motor yang mengikuti besarnya perubahan konsumsi air oleh konsumen/pelanggan.

Dengan mempertimbangkan daya motor induksi (kW), operasi pompa pada kecepatan penuh selama 365 hari dalam setahun, dan 24 jam setiap harinya maka dengan menggunakan program simulasi potensi penghematan energi dengan pemasangan VFD dapat diketahui.

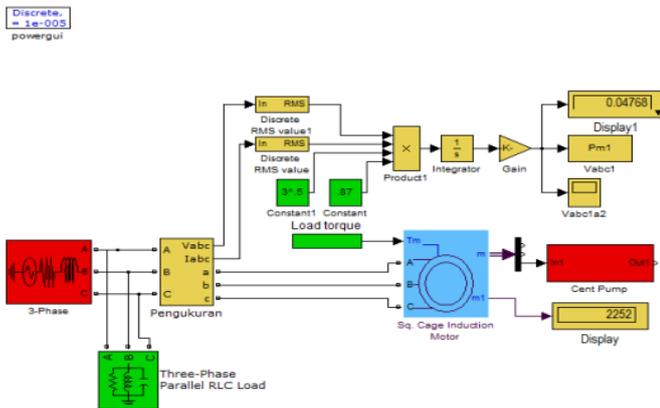
IV. HASIL

Dengan menggunakan data dari spesifikasi motor induksi dan pompa sentrifugal, serta mengisi nilai-nilai pada setiap parameter blok yang ada pada program simulasi diperoleh hasil keluaran seperti yang diperlihatkan pada gambar 3.



Gambar 3. Model Simulasi dan Hasil Perhitungan Untuk Sistem Dengan Variable Frequency Drive

Selanjutnya untuk sistem yang tidak menggunakan variable frequency drive (VFD) hasil keluarannya diperlihatkan oleh gambar 4.



Gambar 4. Model Simulasi dan Hasil Perhitungan Untuk Sistem Tanpa Variable Frequency Drive

Dengan menggunakan VFD = 0.002361 kWh, berarti konsumsi energi rata-rata per hari (E1) = 0.002361 kWh × 24 = 0.056664 kWh.

Tanpa VFD = 0.04768 kWh, berarti konsumsi energi rata-rata per hari (E2) = 0.04768 kWh × 24 = 1,14432 kWh.

Penghematan energi per hari = E2 – E1 = 1,14432 kWh – 0.056664 kWh = 1,087656 kWh.

Penghematan energi per tahun = 365 × (E2 – E1) = 365 × 1,087656 kWh = 396,99444 kWh.

Hasil diatas dibandingkan dengan perhitungan secara

manual untuk model simulasi tanpa variable frequency drive.

Dengan menggunakan VFD = 0.002361 kWh, berarti konsumsi energi rata-rata per hari (E1) = 0.002361 kWh × 24 = 0.056664 kWh.

Tanpa VFD = √3.V.I.Cosθ = √3 . 380 . 24,8 . 0.83 = 13,547,962 W = 13,547962 kW, dengan time running 2 detik =

$\frac{2}{3600} \times 13,547962 \text{ kW} = 0.0075266 \text{ kWh}$, berarti konsumsi

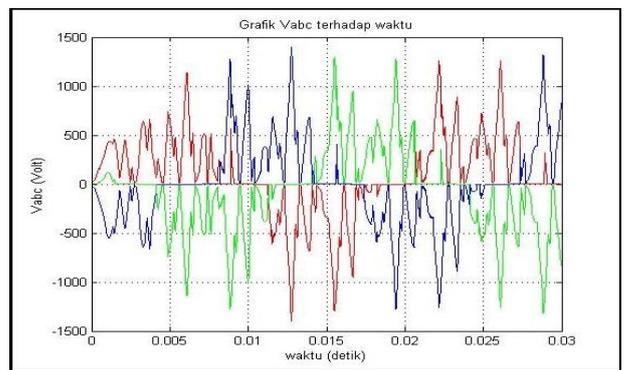
energi rata-rata per hari (E2) = 0.0075266 kWh × 24 = 0.180638 kWh

Penghematan energi per hari = E2 – E1

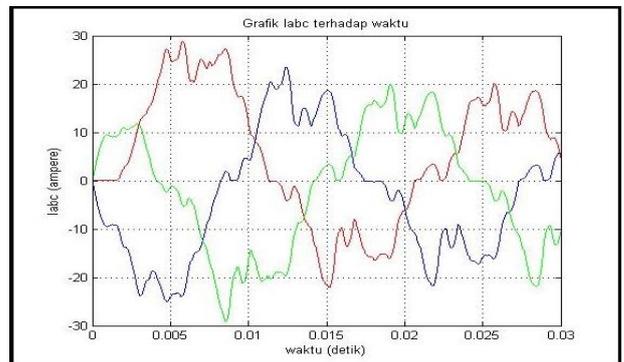
= 0.180638 kWh – 0.056664 kWh = 0.123974 kWh

Penghematan energi per tahun = 365 × 0.123974 kWh = 45,25051 kWh.

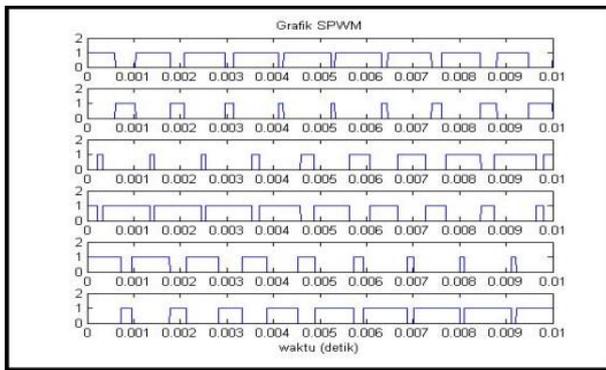
Bentuk gelombang tegangan, arus dan SPWM keluaran diperlihatkan pada gambar. 5, 6 dan 7.



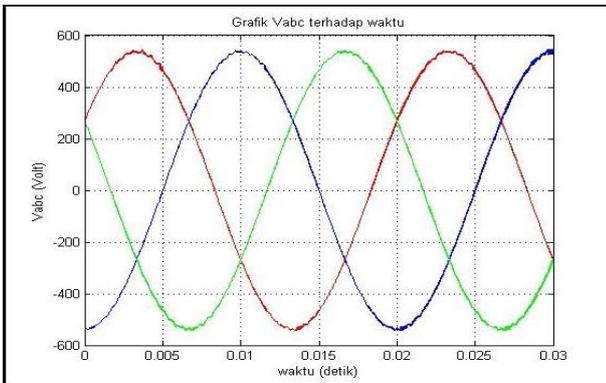
Gambar 5. Bentuk Gelombang Keluaran Tegangan Sumber Untuk Sistem Dengan Variable Frequency Drive



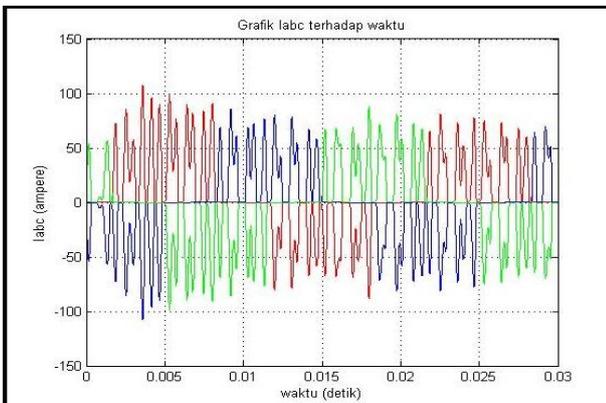
Gambar 6. Bentuk Gelombang Keluaran Arus Sumber Untuk Sistem Dengan Variable Frequency Drive



Gambar 7. Bentuk Gelombang Keluaran SPWM Untuk Sistem Dengan Variable Frequency Drive



Gambar 8. Bentuk Gelombang Keluaran Tegangan Sumber Untuk Sistem Tanpa Variable Frequency Drive



Gambar 9. Bentuk Gelombang Keluaran Arus Sumber Untuk Sistem Tanpa Variable Frequency Drive

V. KESIMPULAN

Dengan menggunakan model simulasi *variable frequency drive* (VFD) untuk mengontrol kecepatan putar motor induksi yang menggerakkan pompa sentrifugal dapat memberikan gambaran besarnya potensi penghematan energi listrik yang dikonsumsi oleh motor listrik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mr.Priyank Dave, Mr.Kashyap Mokariya, and Mr.Vijay Patel, "Energy Conservation in Centrifugal Pump with Variable Frequency Drive Including SCADA, PLC and HMI," International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology., vol. 2, issue 5, May 2013.
- [2] Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri, " Pompa dan Sistem Pemompaan," United Nations Environment Programme (UNEP), 2006.
- [3] Neetha John, Mohandas R, and Suja C Rajappan, " Energy Saving Mechanism Using Variable Frequency Drives," International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering., volume 3, issue 3, March 2013.
- [4] Jigar N. Mistry, Hetal D. Solanki, dan Tejas M. Vala, "Variable Frequency Drive," International Refereed Research journal., vol. 2, issue 3, 2012.
- [5] Michel A. Bernier and Bernard Bourret, " Pumping Energy and Variable Frequency Drive," ASHRAE Journal, December 1999..
- [6] Yusnan Badruzzaman, "Pengasutan Konvensional Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Sangkar Tupai," Jurnal JTET Vol. 1 No. 1 April 2012.
- [7] Zuhail, "Dasar Tenaga Listrik," Penerbit ITB Bandung, 1991.
- [8] Hamad Raad Salih, Ali Abdulwahhab Abdulrazzaq, Basarab, and Guzun, "Dynamic Modeling of Pump Drive System Utilizing Simulink/Matlab Program," International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), Vol.3, issue 1, Jan-2016.
- [9] Thida Win, Nang Sabai and Hnin Nandar Maung, "Analysis of Variable Frequency Three Phase Induction Motor Drive," World Academy of Science, Engineering and Technology, 2008.
- [10] Annapurna Birdar and Ravindra G. Patil, " Energy Conservation Using Variable Frequency Drive," International Journal of Emerging Trends in Electrical and Electronics (IJETEE), Vol. 2, issue 1, April 2013.
- [11] Tamal Aditya, "Research to Study Variable Frequency Drive and its Energy Savings," International Journal of Science and Research (IJSR), Vol.2, issue 6, June 2013.
- [12] Sanjay Dabadgaonkar and Asim Kumar Sen, "Controlling of Pump Onboard Ship using Variable Frequency Drive with Three-phase Inverter and Three Phase Induction Motor," MIT International Journal of Electrical and Instrumentation Engineering, Vol. 1, No. 2, Aug 2011.