

**IMPLEMENTASI DISTRIBUTION STATIC COMPENSATOR (DSTATCOM)  
UNTUK MENINGKATKAN STABILITAS KECEPATAN NOMINAL MOTOR  
INDUKSI SEBAGAI PENGGERAK POMPA DI PDAM WENDIT**

**SKRIPSI**



**Disusun oleh :  
MUHAMMAD ARDIANSAH  
NIM. 09.12.024**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1  
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
2013**

THE UNIVERSITY OF MICHIGAN LIBRARY SYSTEMS  
SERIALS ACQUISITION DEPARTMENT  
300 TAPSCOTT DRIVE  
ANN ARBOR MI 48106-1500

1991

1991

UNIVERSITY OF MICHIGAN  
SERIALS ACQUISITION DEPARTMENT  
300 TAPSCOTT DRIVE

THE UNIVERSITY OF MICHIGAN LIBRARY SYSTEMS  
SERIALS ACQUISITION DEPARTMENT  
300 TAPSCOTT DRIVE  
ANN ARBOR MI 48106-1500

1991

# LEMBAR PERSETUJUAN

## IMPLEMENTASI *DISTRIBUTION STATIC COMPENSATOR* (*DSTATCOM*) UNTUK MENINGKATKAN STABILITAS KECEPATAN NOMINAL MOTOR INDUKSI SEBAGAI PENGGERAK POMPA DI PDAM WENDIT

### SKRIPSI

*Disusun dan diajukan untuk melengkapi dan memenuhi persyaratan  
guna mencapai gelar Sarjana Teknik*

Disusun oleh :

**MUHAMMAD ARDIANSAH**  
NIM : 09.12.024

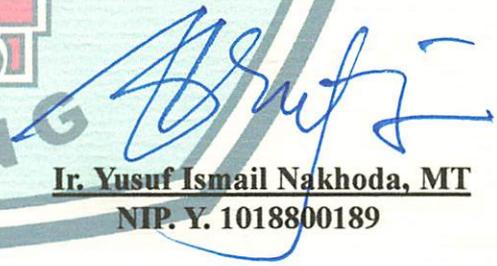
Mengetahui,  
Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1

  
**M. Ibrahim Ashari, ST. MT**  
NIP. P. 1030100358

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

  
**Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE**  
NIP.Y.1018500108

  
**Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT**  
NIP. Y. 1018800189

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1  
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
2013**

## SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Ardiansah

NIM : 09.12.024

Program Studi : Teknik Elektro S-1

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Dengan ini menyatakan bahwa Skripsi yang saya buat adalah hasil karya sendiri, tidak merupakan plagiasi dari karya orang lain. Dalam Skripsi ini tidak memuat karya orang lain, kecuali dicantumkan sumbernya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat, dan apabila di kemudian hari ada pelanggaran atas surat pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksinya.

Malang, 13 Maret 2013

Yang membuat Pernyataan,



**Muhammad Ardiansah**

NIM : 09.12.024

## ABSTRAK

### IMPLEMENTASI *DISTRIBUTION STATIC COMPENSATOR (DSTATCOM)* UNTUK MENINGKATKAN STABILITAS KECEPATAN NOMINAL MOTOR INDUKSI SEBAGAI PENGGERAK POMPA DI PDAM WENDIT

Muhammad Ardiansah, NIM 0912024

Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE dan  
Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT

Menurunnya kecepatan motor induksi dari nilai nominalnya merupakan salah satu gejala yang umum dialami oleh setiap penggunaannya. Penurunan kecepatan nominal motor induksi ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya performa tegangan sistem dan besarnya nilai torsi beban yang digerakkan motor induksi tersebut. Permasalahan tersebut juga dialami PDAM Wendit Kota Malang dengan empat unit motor induksi sebagai penggerak pompa, sedangkan motor induksi tersebut diharapkan dapat meningkatkan kecepatan nominalnya agar kinerja pompa untuk mensuplai air meningkat kapasitasnya. Oleh karena itu, untuk memenuhi kebutuhan dari permasalahan tersebut, maka dipasang dan disimulasikan sebuah DSTATCOM (*Distribution Static Compensator*) menggunakan *software* PSCAD/EMTDC *Power Simulation*. Dari simulasi tersebut didapatkan bahwa kecepatan nominal setiap motor induksi meningkat, dimana motor 1 meningkat dari 1482 RPM menjadi 1491 RPM, motor 3 dari 1476 RPM menjadi 1484 RPM, dan motor 4 dari 1472 RPM menjadi 1480 RPM. Sehingga kapasitas suplai debit air meningkat dari 362 lt/dtk atau 31276800 lt/24 jam menjadi 364 lt/dtk atau 31449600 lt/24 jam dan memberikan optimasi sebesar 172800 lt/24 jam.

**Kata Kunci** : kecepatan nominal motor induksi, DSTATCOM, PSCAD/EMTDC

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur Kehadirat Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya, sehingga kami selaku penyusun dapat menyelesaikan Laporan Skripsi ini yang berjudul **“IMPLEMENTASI *DISTRIBUTION STATIC COMPENSATOR (DSTATCOM)* UNTUK MENINGKATKAN STABILITAS KECEPATAN NOMINAL MOTOR INDUKSI SEBAGAI PENGGERAK POMPA DI PDAM WENDIT”** dapat terselesaikan.

Adapun maksud dan tujuan dari penulisan laporan ini merupakan salah satu syarat untuk dapat menyelesaikan studi dan mendapatkan gelar Sarjana Jurusan Teknik Elektro S-1, Konsentrasi Teknik Energi Listrik ITN Malang.

Sebagai pihak penyusun penulis menyadari tanpa adanya kemauan dan usaha serta bantuan dari berbagai pihak, maka laporan ini tidak dapat diselesaikan dengan baik. Oleh sebab itu, penyusun mengucapkan terima kasih kepada yang terhormat :

1. Ir. Soeparno Djiwo, MT selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Ir. Anang Subardi, MT selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang.
3. M. Ibrahim Ashari, ST. MT selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1 Institut Teknologi Nasional Malang.
4. Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE selaku Dosen Pembimbing satu Tugas Skripsi.
5. Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT selaku Dosen Pembimbing dua Tugas Skripsi.
6. Rekan – rekan Asisten Laboratorium Simulasi Sistem Tenaga Elektrik
7. Sahabat-sahabat dan rekan-rekan yang tidak kami sebutkan satu-persatu, kami mengucapkan banyak terima kasih atas bantuannya dalam proses pembuatan Skripsi yang telah saya kerjakan, begitu juga dengan penyelesaian laporan ini.

Usaha ini telah kami lakukan semaksimal mungkin, namun jika ada kekurangan dan kejanggalan dalam penyusunan, kami mohon saran dan kritik yang sifatnya membangun. Begitu juga sangat kami perlukan untuk menambah kesempurnaan laporan ini dan dapat bermanfaat bagi rekan-rekan mahasiswa pada khususnya dan pembaca pada umumnya.

Malang, 16 Februari 2013

Penyusun

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....	i
<b>ABSTRAK</b> .....	ii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	viii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Metododologi Penelitian.....	4
1.7 Sistematika Penulisan.....	5
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA</b> .....	6
2.1 Tegangan Sistem Tenaga Listrik.....	6
2.1.1 Kestabilan Tegangan.....	6
2.1.2 Sumber Ketidakstabilan Tegangan.....	7
2.1.3 Pengaruh Ketidakstabilan Tegangan Terhadap Faktor Daya.....	8
2.1.4 Pengaruh Stabilitas Tegangan Terhadap Kinerja Motor Induksi.....	9
2.2 Motor Induksi.....	9
2.2.1 Prinsip Kerja Motor Induksi.....	13
2.2.2 Kecepatan Putaran Motor Induksi.....	14
2.2.3 Identifikasi Penurunan Kecepatan Nominal Motor Induksi.....	15
2.3 FACTS ( <i>Flexible Alternating Current Transmission System</i> ) <i>Devices</i> .....	16
2.4 DSTATCOM ( <i>Distribution Static Compensator</i> ).....	17
2.4.1 Model DSTATCOM ( <i>Distribution Static Compensator</i> ).....	17

2.4.2 Prinsip Kerja DSTATCOM (Distribution Static Compensator).....	18
<b>BAB III IMPLEMENTASI DISTRIBUTION STATIC COMPENSATOR PADA SISTEM JARINGAN PDAM WENDIT KOTA MALANG.....</b>	<b>22</b>
3.1 Metode Pengendalian DSTATCOM ( <i>Distribution Static Compensator</i> ).....	22
3.2 Mekanisme Pengendalian Daya Reaktif Terhadap Kecepatan Nominal Motor Induksi.....	23
3.2.1 Alur Pengendalian Daya Reaktif Terhadap kecepatan Nominal Motor Induksi.....	25
3.3 PWM ( <i>Pulse Wide Modulation</i> ) pada Rangkaian VSC ( <i>Voltage Source Converter</i> ).....	27
3.4 Kontrol Jaringan.....	30
3.5 <i>Software PSCAD/EMTDC V 4.2 Power Simulation</i> .....	32
3.3 Sistem Jaringan 0.38 kV di PDAM Wendit Kota Malang .....	33
3.5.1 Data Sistem PDAM Wendit Kota Malang.....	34
3.6 <i>Flowchart</i> Hasil Simulasi Menggunakan <i>Software PSCAD/EMTDC</i> .....	40
3.6.1 <i>Flowchart</i> Penyelesaian Masalah.....	40
<b>BAB IV HASIL DAN ANALISA HASIL.....</b>	<b>41</b>
4.1 <i>Single Line</i> Sistem Kelistrikan di PDAM Wendit Kota Malang.....	41
4.2 Solusi Meningkatkan Kecepatan Nominal Motor Induksi.....	42
4.2 Hasil Simulasi Sebelum Pemasangan DSTATCOM.....	42
4.3 Hasil Simulasi Sebelum Setelah Pemasangan DSTATCOM .....	43
4.4 Analisa Hasil Simulasi .....	44
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>47</b>
5.1 Kesimpulan .....	47
5.2 Saran.....	48
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Stabilitas Tegangan .....	7
Gambar 2. 2 Koreksi Faktor Daya .....	8
Gambar 2. 3 Kontruksi Sederhana Rotor Belitan .....	11
Gambar 2. 4 Kontruksi Sederhana Rotor Sangkar.....	11
Gambar 2. 5 Konstruksi Sederhana Jenis Stator.....	12
Gambar 2. 6 Gambaran Sederhana Struktur Motor Induksi .....	13
Gambar 2. 7 Grafik Hubungan Torsi dengan Kecepatan.....	15
Gambar 2. 8 Diagram blok fungsional DSTATCOM .....	18
Gambar 2. 9 Diagram <i>Single Line</i> Implementasi DSTATCOM.....	19
Gambar 2. 10 Hubungan Vs dan Vc Untuk Pengiriman Daya Aktif .....	20
Gambar 2. 11 Prinsip Kerja DSTATCOM : a) Operasi Kapasitif, b) Operasi Induktif, c) Operasi Tanpa Beban.....	21
Gambar 3. 1 Alur Proses Pengendalian DSTATCOM .....	23
Gambar 3. 2 Grafik Daya Reaktif Sistem Kondisi <i>Base Case</i> .....	25
Gambar 3. 3 Grafik Injeksi Daya Reaktif Ke Sistem.....	25
Gambar 3. 4 Grafik Daya Reaktif Sumber Setelah Dikompensasi.....	26
Gambar 3. 5 Grafik Tegangan RMS Setelah Kompensasi Daya Reaktif.....	26
Gambar 3. 6 Rangkaian Modulasi Lebar Pulsa pada VSC .....	29
Gambar 3. 7 Kontrol Jaringan dari Persamaan d-q Teory.....	30
Gambar 3. 8 <i>Single Line</i> Sistem Tenaga Listrik PDAM Wendit Kota Malang.....	33
Gambar 3. 9 <i>Single Line</i> Sistem Tenaga Listrik PDAM Wendit Kota Malang dalam PSCAD.....	36
Gambar 3. 10 Grafik Kecepatan Nominal Motor Induksi 1, 3, dan 4 <i>Kondisi Base Case</i> .....	37
Gambar 3. 11 <i>Single Line</i> Sistem Tenaga Listrik PDAM Wendit Kota Malang Setelah Pemasangan DSTATCOM dalam PSCAD .....	38
Gambar 3. 12 <i>Flowchart</i> Penyelesaian Masalah.....	40
Gambar 4. 1 <i>Single Line</i> Sistem Tenaga Listrik dengan DSTATCOM di PDAM Wendit Kota Malang dalam PSCAD.....	41

- Gambar 4. 2 Grafik Kecepatan Nominal Motor Induksi 1, 3,  
dan 4 Kondisi *Base Case* di PDAM Wendit Kota Malang..... 42**
- Gambar 4. 3 Grafik Kecepatan Nominal Motor Induksi 1, 3, dan 4 Sebelum dan  
Setelah Pemasangan DSTATCOM di PDAM Wendit Kota Malang 43**

## DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Data Nameplate Sistem PDAM Wendit Kota Malang.....	35
Tabel 3. 2 Data Sistem PDAM Wendit Berdasarkan Hasil Pengukuran.....	35
Tabel 3. 3 Data Operasional Sistem PDAM Wendit Kota Malang.....	35
Tabel 4. 1 Performa Sistem Kondisi Sebelum dan Sesudah Pemasangan DSTATCOM.....	45
Tabel 4. 2 Optimasi Peningkatan Stabilitas Sistem.....	46

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Meningkatnya jumlah penduduk maka semakin meningkat pula kebutuhan air bersih yang kontinuitas untuk memenuhi keperluan sehari-hari. Hampir setiap aktivitas manusia sangat terkait dengan kebutuhan air bersih, namun air bersih saat ini sering menjadi permasalahan karena kesulitan untuk mendapatkannya. Hal ini disebabkan oleh ulah manusia sendiri, yaitu tidak bisa menjaga lingkungan hidup dengan baik, sehingga sumber air di lingkungan sekitarnya tidak dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan sehari-harinya. Pada akhirnya penduduk tersebut harus mencari cara lain untuk mendapatkan air bersih, yaitu salah satunya dengan cara mengandalkan bantuan dari Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM). Seperti di daerah perkotaan khususnya penduduk Kota Malang kebanyakan menggunakan sumber air dari PDAM untuk berbagai aktivitas tertentu.

Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) sebagai penyedia air bersih memiliki peran yang sangat penting dan tanggung jawab yang besar untuk mempertahankan kestabilan kontinuitas suplai air bersih kepada penduduk yang membutuhkan selama 24 jam. Meskipun kontinuitas suplai air sudah terpenuhi akan tetapi kapasitas debit air yang disuplai masih belum dapat dipertahankan dari kapasitas yang menjadi sasaran PDAM tersebut. Berdasarkan hasil *survey* pada tanggal 23 Oktober sampai 4 Desember 2012 dan 19 Desember 2012, fenomena tersebut terjadi pada PDAM Wendit Kota Malang yang hanya mampu mensuplai 362 lt/dtk selama 24 jam, sedangkan target sasarannya adalah 450 lt/dtk selama 24 jam. Hal ini salah satunya disebabkan oleh penurunan kecepatan nominal motor induksi sebagai penggerak pompa PDAM tersebut menurun dari kecepatan nominalnya. Sebagai akibatnya terjadi penurunan produksi suplai air terhadap pelanggannya.

Salah satu solusi yang dapat dilakukan untuk memperbaiki fenomena tersebut adalah dengan mengimplementasikan komponen FACTS (*Flexible Alternating Current Transmission System*) berupa DSTATCOM (*Distribution Static Compensator*). DSTATCOM dapat menginjeksi maupun menyerap daya

reaktif, sehingga dapat meningkatkan stabilitas tegangan yang mengarah pada stabilitas kecepatan nominal motor induksi yaitu dengan cara mengontrol kebutuhan daya reaktif dari beban *nonlinier* seperti motor induksi.

## 1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang diangkat pada skripsi ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana performa kecepatan nominal motor induksi di sistem PDAM Wendit dalam kondisi *base case*?
2. Bagaimana kondisi kestabilan kecepatan nominal motor induksi terhadap kapasitas debit air dari pompa pada kondisi *base case*?
3. Bagaimana kondisi kecepatan nominal motor induksi di PDAM Wendit sebelum dan sesudah implementasi DSTATCOM?

Dari permasalahan di atas maka skripsi ini berjudul:

### **IMPLEMENTASI *DISTRIBUTION STATIC COMPENSATOR (DSTATCOM)* UNTUK MENINGKATKAN STABILITAS KECEPATAN NOMINAL MOTOR INDUKSI SEBAGAI PENGGERAK POMPA DI PDAM WENDIT**

## 1.3 Tujuan

Berdasarkan permasalahan yang dikemukakan di atas maka, tujuan dalam penulisan skripsi ini adalah

1. Melihat dan menganalisa pengaruh dari performa kecepatan nominal motor induksi di sistem PDAM Wendit .
2. Mengimplementasikan DSTATCOM untuk meningkatkan stabilitas kecepatan nominal motor induksi sebagai penggerak pompa di PDAM Wendit.
3. Menganalisa pengaruh stabilitas kecepatan nominal motor induksi setelah implementasi DSTATCOM terhadap kapasitas debit air di PDAM Wendit.

#### 1.4 Batasan Masalah

Agar permasalahan yang dibahas tidak terlalu meluas, maka ruang lingkup pembahasan adalah sebagai berikut:

1. Studi kasus dalam penelitian ini adalah sistem di PDAM Wendit Kota Malang.
2. Perhitungan menggunakan *study load flow* dari *software* ETAP *Power Station* 7.0 dan simulasi menggunakan *software* PSCAD/EMTDC V4.2 *Power Simulation*.
3. Indikator akhir dari analisa sistem tersebut adalah meningkatkan stabilitas kecepatan nominal motor induksi setelah implementasi DSTATCOM.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

1. Bagi Masyarakat
  - Membantu masyarakat untuk mengetahui permasalahan yang terjadi pada sistem kelistrikan di PDAM Wendit dan cara meningkatkan kestabilan dari permasalahan tersebut, sehingga kontinuitas suplai air bersih dari PDAM Wendit sendiri dapat terjaga dengan baik.
  - Membantu masyarakat untuk mendapatkan air bersih yang disuplai dari PDAM Wendit secara mudah dan terjaga kontinuitasnya selama 24 jam.
2. Bagi Penulis
  - Untuk menambah wawasan dan ilmu pengetahuan di luar lingkungan kampus yang berhubungan dengan program study yang di pilih.
  - Untuk menambah pengetahuan sebelum terjun langsung di dunia kerja dan di tengah masyarakat untuk mengabdikan ilmu yang dipelajari selama di bangku kuliah.

### 3. Bagi Ilmu Pengetahuan

- Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu di bidang energi listrik.
- Menggali solusi alternatif dan menambah kepustakaan ilmu di bidang energi listrik.

## 1.6 Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini adalah :

### 1. Kajian literatur

Yaitu kajian pustaka untuk mempelajari teori-teori yang terkait melalui literatur yang ada, yang berhubungan dengan permasalahan.

### 2. Pengumpulan Data

Bentuk data yang digunakan adalah :

- Data kuantitatif, yaitu data yang dapat dihitung, yaitu data – data pada sistem PDAM Wendit berupa tegangan dan beban (motor).
- Data kualitatif, yaitu data yang berbentuk diagram. Dalam hal ini *single line* diagram PDAM Wendit

### 3. Memasang DSTATCOM di sistem jaringan PDAM Wendit.

### 4. Menganalisa data – data yang telah dikumpulkan di sistem jaringan PDAM Wendit.

### 5. Menguji stabilitas tegangan sistem dan kecepatan nominal motor induksi di sistem PDAM WENDIT, serta membandingkannya dari pengaruh sebelum dan sesudah pemasangan DSTATCOM.

### 6. Menarik kesimpulan dari hasil analisa data.

## 1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika dari pembahasan dalam skripsi ini adalah sebagai berikut :

### **BAB I : PENDAHULUAN**

Berisikan latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, manfaat penelitian, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

### **BAB II : KAJIAN PUSTAKA**

Pengertian tentang teori stabilitas tegangan sistem, motor induksi, kecepatan nominal motor induksi dan penjelasan tentang teori DSTATCOM serta pengaruh pemasangannya.

### **BAB III : IMPLEMENTASI *DISTRIBUTION STATIC COMPENSATOR* PADA SISTEM JARINGAN PDAM KOTA MALANG UNIT PDAM WENDIT**

Pada bab ini menjelaskan tentang sistem jaringan di PDAM Wendit Kota Malang

### **BAB IV : HASIL SIMULASI DAN ANALISA HASIL**

Pada bab ini berisi data hasil simulasi dan analisa hasil dari PSCAD/EMTDC *Power Simulation*.

### **BAB V : PENUTUP**

Pada bab ini berisi kesimpulan dan saran.

### **DAFTAR PUSTAKA**

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA

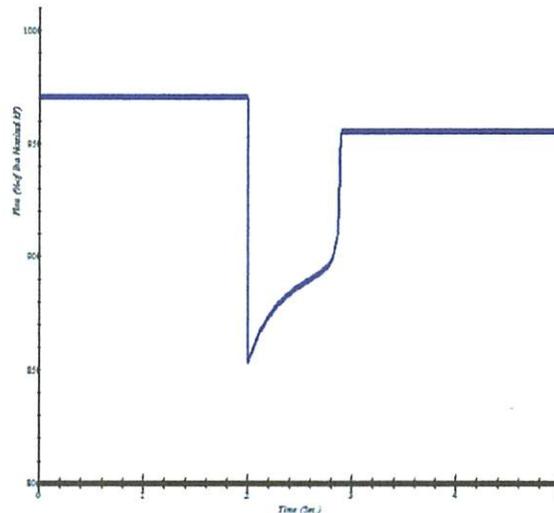
#### 2.1 Tegangan Sistem Tenaga Listrik

Tegangan adalah perbedaan potensial listrik antara dua titik dalam rangkaian listrik, dan dinyatakan dalam satuan Volt. Pengendalian Tegangan diperlukan untuk menghindari kerusakan peralatan yang terhubung ke jaringan transmisi, baik oleh tegangan yang terlalu rendah maupun yang terlalu tinggi, serta untuk menjamin bahwa tegangan disisi pelanggan berada dalam tingkat yang dapat diterima. Selain itu, ketidakseimbangan tegangan harus dikendalikan pula untuk memberi pelayanan yang memuaskan ke pelanggan.

##### 2.1.1 Kestabilan Tegangan

Kestabilan tegangan adalah kemampuan dari suatu sistem tenaga untuk selalu siap mempertahankan tegangan yang diterima di setiap bus dalam sistem tersebut saat beroperasi normal dan atau setelah mengalami gangguan. Suatu sistem memasuki situasi ketidakstabilan tegangan ketika terjadi gangguan, meningkatnya permintaan beban atau perubahan dalam kondisi sistem yang mengakibatkan perubahan yang drastis dan tidak terkontrolnya penurunan tegangan. Penyebab utama ketidakstabilan tegangan adalah ketidakmampuan suatu sistem tenaga untuk memenuhi permintaan daya reaktif. Inti dari permasalahannya adalah penurunan tegangan yang terjadi ketika daya aktif mengalir melalui reaktansi induktif yang dihubungkan dengan jaringan transmisi.

Kriteria kestabilan tegangan dapat dipenuhi jika tegangan pada setiap bus dalam suatu sistem yang sedang beroperasi akan meningkat besarnya seiring dengan meningkatnya injeksi daya reaktif pada bus yang sama. Suatu sistem dikatakan tidak stabil jika dalam sistem tersebut sedikitnya terdapat sebuah bus mengalami penurunan besarnya tegangan bersamaan pada saat injeksi daya reaktif diberikan pada bus yang sama, atau dengan kata lain tegangan suatu sistem stabil jika sensitivitas  $V-Q$  nya *negative* setidaknya pada sebuah bus. Ketidakstabilan tegangan dapat terjadi dalam beberapa cara yang berbeda, salah satunya ditunjukkan seperti pada gambar 2.1



Gambar 2. 1  
Stabilitas Tegangan

Ilustrasi gambar diatas menunjukkan bahwa terjadi drop tegangan RMS selama 1 detik saat starting motor induksi berdaya besar mencapai 0.78 pu, yaitu di luar rating standar tegangan (0,95 pu – 1,05 pu). Oleh karena itu perlu selalu dijaga keadaan stabilitas tegangan agar dapat beroperasi pada stabilitas yang disarankan.

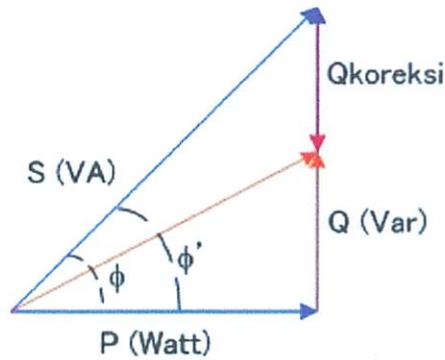
### 2.1.2 Sumber Ketidakstabilan Tegangan

Pada dasarnya tegangan yang dikirim tidak sama dengan tegangan yang diterima, karena rugi-rugi tegangan tidak dapat dihindari selama proses penyaluran melalui saluran transmisi dari sumber ke pelanggan. Reaktansi induktif ( $X_L$ ) sepanjang saluran transmisi menyebabkan sumber kelebihan mensuplai daya reaktif ke sistem, sehingga mengakibatkan rugi-rugi tegangan pada saluran transmisi besar dan tegangan pada sisi terima mengalami penurunan terhadap tegangan sumbernya.

Penurunan tegangan akan menyebabkan tegangan menjadi kritis saat terjadi berbagai macam gangguan, baik gangguan internal maupun eksternal. Gangguan internal seperti injeksi beban-beban berkapasitas besar, komponen peralatan listrik yang tidak bekerja secara optimal, dll. Sedangkan gangguan eksternal seperti sambaran petir dan pohon tumbang pada jaringan yang mengakibatkan terjadinya *short circuit* baik simetris maupun asimetris.

### 2.1.3 Pengaruh Ketidakstabilan Tegangan Terhadap Faktor Daya

Tegangan sistem tenaga listrik memiliki hubungan yang erat terhadap koreksi faktor daya khususnya daya reaktif. Kondisi tegangan yang tidak stabil memberikan koreksi faktor daya yang kurang baik kualitasnya. Hal ini dapat dijelaskan dengan metode segitiga daya seperti penjelasan berikut ini:



Gambar 2. 2  
Koreksi Faktor Daya

Dari gambar 2.2 di dapatkan persamaan – persamaan seperti berikut :

$$S = V \cdot I \dots\dots\dots (2.1)$$

$$P = V \cdot I \cos \phi \dots\dots\dots (2.2)$$

$$Q = V \cdot I \sin \phi \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

S = Daya Total (VA)

P = Daya Aktif (Watt)

Q = Daya Reaktif (Var)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

$\phi$  = Sudut daya

Pada persamaan 2.3 menunjukkan bahwa tegangan memiliki hubungan terhadap daya reaktif (Q). Jika terdapat Q koreksi akibat injeksi daya reaktif dari komponen elektronika daya maka V akan naik dan I akan turun, sehingga  $\phi$  akan semakin kecil dan faktor daya ( $\cos \phi$ ) akan naik. Peristiwa ini dapat disebut sebagai kompensasi daya reaktif, hal ini adalah salah satu cara untuk meningkatkan stabilitas tegangan yang mengarah pada stabilitas kecepatan nominal motor induksi.

### 2.1.4 Pengaruh Stabilitas Tegangan Terhadap Kinerja Motor Induksi

Beban *non linier* seperti motor induksi sebagai pengubah energi elektrik menjadi energi mekanik membutuhkan tegangan yang stabil saat beroperasi nominal maupun pada saat starting agar kinerjanya dapat optimal. Pada intinya salah satu performa kecepatan nominal induksi dipengaruhi oleh stabilitas tegangan sistem. Seperti contoh fenomena starting motor induksi terjadi kenaikan arus 5-7 kali arus nominal mengakibatkan penurunan tegangan sesaat, sedangkan kecepatan nominal motor induksi memberikan akselerasi dari putaran nol sampai nominal. Putaran motor induksi akan beroperasi pada kondisi nominal jika kondisi arus dan tegangan beroperasi pada nilai nominalnya.

Penurunan tegangan juga terjadi akibat gangguan internal maupun eksternal yang mengakibatkan penurunan kecepatan nominal motor induksi. Sehingga salah satu alternatif untuk meningkatkan stabilitas kecepatan nominal motor induksi yaitu dengan cara menjaga stabilitas tegangan agar kecepatan nominal motor induksi dapat beroperasi pada kecepatan nominalnya.

## 2.2 Motor Induksi

Penemuan motor induksi pada tahun 1880 melengkapi produksi, transisi, dan penemuan sistem tenaga listrik AC, pada saat itu terjadi kompetisi antara sistem DC dan AC untuk penggunaan umum. Semua konsep sistem AC tiga fasa, termasuk motor induksi pengembangan dari seorang insinyur Yugoslavia bernama Nikola Tesla. Sistem beliau dipatenkan pada tahun 1888. Aplikasi terbesar pertama dari sistem AC tiga fasa Niagara Falls Hydroplant. Saat ini hampir setiap motor yang digunakan di industri adalah motor induksi tiga fasa. Motor induksi tidak memerlukan hubungan elektrik (berupa konduktor) terhadap kumparan rotor yang terhubung singkat (*Short Circuit*) *magnetic flux* berputar melintasi celah udara menghubungkan rangkaian tertutup rotor. Pada saat rotor berputar tidak serempak dengan *magnetic flux*, maka tegangan dikalkulasikan kepada rotor tersebut. Hal ini sesuai dengan hukum Faraday. Fakta yang membuktikan bahwa arus rotor timbul dari induksi, maka motor listrik ini dinamakan motor induksi. Motor induksi juga disebut sebagai motor motor tidak sinkron karena rotor berputar tidak serempak dengan putaran *magnetic flux*.

Motor induksi mempunyai kelebihan diantaranya harganya murah dan pemeliharaannya mudah. Kecepatan motor induksi hampir dapat dikatakan konstan apabila terjadi penurunan kecepatan hanya berkisar beberapa persen saja. Hal ini terjadi pada saat motor berbeban.

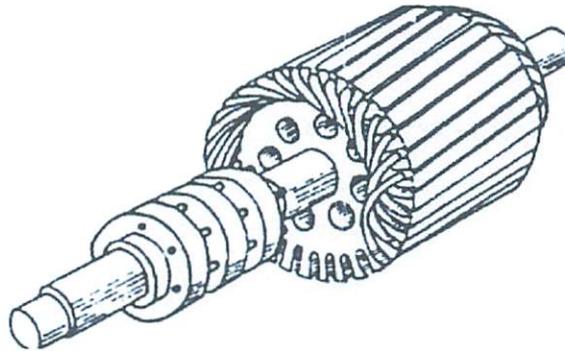
Motor induksi merupakan motor listrik arus bolak balik (AC) yang paling luas digunakan. Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa motor ini bekerja berdasarkan induksi medan magnet stator ke rotornya, dimana arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (*rotating magnetic field*) yang dihasilkan oleh arus stator. (Sarka dkk, 1970)

Perbedaan putaran relative antara stator dan rotor disebut slip. Bertambahnya beban, akan memperbesar kopel motor, yang oleh karenanya akan memperbesar pula arus induksi pada rotor, sehingga slip antara medan putar stator dan putaran rotor pun akan bertambah besar. Jadi, apabila beban motor bertambah, putaran rotor cenderung menurun. Berdasarkan jenis rotor yang digunakan, motor induksi tiga fasa dapat dibedakan menjadi dua tipe yaitu (Smith dkk, 1967) :

### **1. Rotor Belitan**

Motor induksi jenis ini mempunyai rotor dengan belitan kumparan tiga fasa sama seperti kumparan stator. Kumparan stator dan rotor juga mempunyai jumlah kutub yang sama. Rotor yang mempunyai tiga belitan yang mirip dengan belitan stator. Ketiga belitan tersebut biasanya terhubung bintang. Ujung – ujung belitan tersebut dihubungkan dengan slipring yang terdapat pada poros rotor.

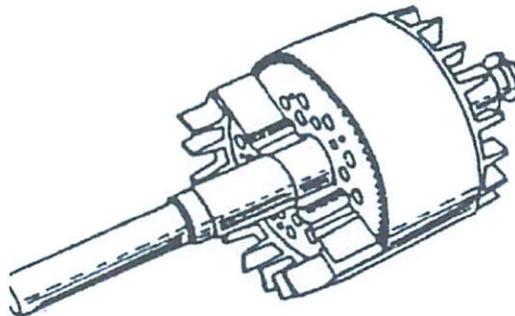
Belitan – belitan tersebut dihubung singkat melalui sikat (brush) yang menempel pada slipring. Jenis rotor belitan dapat dilihat pada gambar sebagai berikut :



Gambar 2. 3  
Kontruksi Sederhana Rotor Belitan

## 2. *Rotor Sangkar*

Motor induksi jenis ini mempunyai rotor dengan kumparan yang terdiri atas beberapa batang konduktor yang disusun sedemikian rupa hingga menyerupai sangkar tupai. Rotor yang terdiri dari sederetan batang – batang penghantar yang terletak pada alur – alur sekitar permukaan rotor. Ujung – ujung batang penghantar dihubung singkat dengan menggunakan cincin hubung singkat. maka jenis rotor sangkar dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2. 4  
Kontruksi Sederhana Rotor Sangkar

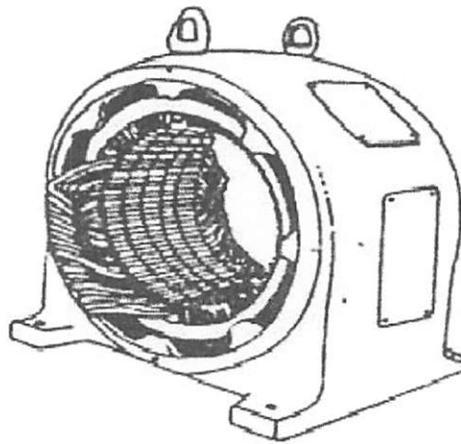
Adapun jenis kontruksi motor induksi secara umum terdiri dari beberapa bagian, diantaranya :

- a. Stator, bagian yang diam.
- b. Rotor, bagian yang berputar.
- c. Celah udara, adalah ruang antara stator dan rotor.

Sedangkan bagian stator dari motor induksi terdiri dari :

- a. Rumah stator dari besi tuang.
- b. Inti stator dari besi lunak atau baja silicon.
- c. Alur dan gigi materialnya sama dengan inti, alur tempat meletakkan belitan.
- d. Belitan stator dari tembaga.

Belitan sator dirangkai untuk motor induksi tiga fasa tetapi juga dapat di rangkai untuk motor induksi satu fasa, disamping itu juga dirangkai untuk jumlah kutub tertentu. Maka jenis stator motor induksi dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



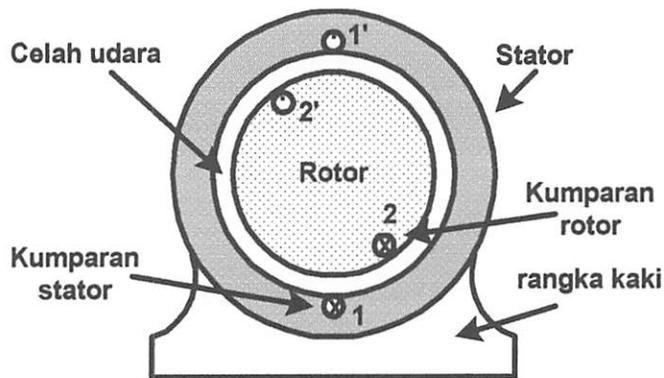
Gambar 2. 5  
Konstruksi Sederhana Jenis Stator

Untuk konstruksi rotor terdiri dari :

- a. Inti rotor bahannya sama dengan inti stator.
- b. Alur dan gigi materialnya sama dengan inti, alur tempat meletakkan belitan.
- c. Belitan rotor bahannya dari tembaga, dari konstruksi lilitan akan memberikan dua macam rotor yakni :
  - Motor induksi dengan rotor sangkar
  - Motor induksi dengan rotor belitan
- d. Poros atau as.

Motor induksi sangat banyak digunakan di dalam kehidupan sehari-hari baik di industri maupun di rumah tangga. Motor induksi yang umum dipakai

adalah motor induksi 3-fase dan motor induksi 1-fase. Motor induksi 3-fase dioperasikan pada sistem tenaga 3-fase dan banyak digunakan di dalam berbagai bidang industri, sedangkan motor induksi 1-fase dioperasikan pada sistem tenaga 1-fase yang banyak digunakan terutama pada penggunaan untuk peralatan rumah tangga seperti kipas angin, lemari es, pompa air, mesin cuci dan sebagainya karena motor induksi 1-fase mempunyai daya keluaran yang rendah.



Gambar 2. 6  
Gambaran Sederhana Struktur Motor Induksi

### 2.2.1 Prinsip Kerja Motor Induksi

Motor induksi bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik dari kumparan stator kepada kumparan rotornya. Garis-garis gaya fluks yang diinduksikan dari kumparan stator akan memotong kumparan rotornya sehingga timbul emf ( $ggI$ ) atau tegangan induksi dan karena penghantar (kumparan) rotor merupakan rangkaian yang tertutup, maka akan mengalir arus pada kumparan rotor. Penghantar (kumparan) rotor yang dialiri arus ini berada dalam garis gaya fluks yang berasal dari kumparan stator sehingga kumparan rotor akan mengalami gaya Lorentz yang menimbulkan torsi yang cenderung menggerakkan rotor sesuai dengan arah pergerakan medan induksi stator. Pada rangka stator terdapat kumparan stator yang ditempatkan pada slot-slotnya yang dililitkan pada sejumlah kutup tertentu. Jumlah kutup ini menentukan kecepatan berputarnya medan stator yang terjadi yang diinduksikan ke rotornya. Makin besar jumlah kutup akan mengakibatkan makin kecilnya kecepatan putar medan stator dan sebaliknya. Kecepatan berputarnya medan putar ini disebut kecepatan sinkron. (Javanbakht dkk, 2008).

### 2.2.2 Kecepatan Putaran Motor Induksi

Motor induksi memiliki dua komponen dasar yaitu stator dan rotor, bagian rotor dipisahkan dengan bagian stator oleh celah udara (air gap). Kecepatan motor induksi sangat dipengaruhi oleh banyaknya kutub pada statornya dan frekuensi sumber yang dirumuskan sebagai berikut :

$$N_s = \frac{120f}{P} \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana:

$N_s$  = kecepatan sinkron (rpm)

$f$  = frekuensi (Hz)

$P$  = Jumlah kutub

Pada kenyataanya perputaran rotor tidak sama dengan kecepatan sinkronnya. Perbedaan antara kecepatan sinkron dengan kecepatan rotornya disebut dengan Slip (s). Slip dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$S = \frac{N_s - N_r}{N_r} \dots\dots\dots (2.5)$$

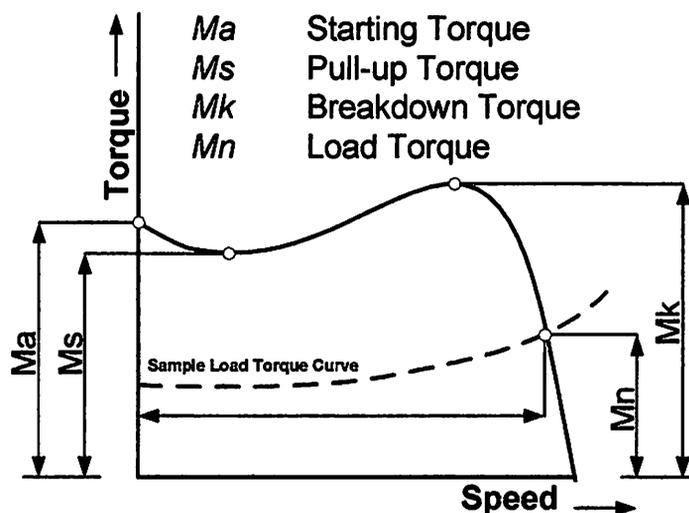
dengan :

$S$  = Slip

$N_s$  = Kecepatan Stator (RPM)

$N_r$  = Kecepatan rotor (RPM)

dimana putaran dari rotor untuk motor induksi adalah cenderung stabil mendekati kecepatan nominal demikian juga torsiya. (Malaiappan dkk, 2004)



Gambar 2. 7  
Grafik Hubungan Torsi dengan Kecepatan

Gambar 2.7 menunjukkan grafik hubungan torsi dan kecepatan motor induksi AC tiga fasa, dimana pada saat starting torsi ( $M_a$ ) berakselerasi cenderung menuju titik lebih rendah (*pull-up torque*) untuk menggerakkan torsi beban. Sedangkan kecepatan berada dalam kondisi beroperasi dari nol menuju nominalnya. Pada saat kecepatan dalam kondisi nominalnya, torsi sudah melewati kondisi puncak ( $M_k$ ) dan cenderung menurun untuk menyesuaikan kemampuan kecepatan nominal motor induksi pada saat menggerakkan torsi beban. Sehingga pada akhirnya torsi dan kecepatan nominal motor induksi beroperasi pada kondisi nominalnya untuk menggerakkan torsi beban.

### 2.2.3 Identifikasi Penurunan Kecepatan Nominal Motor Induksi

Untuk mengidentifikasi penyebab terjadinya penurunan kecepatan nominal motor induksi, dapat diketahui melalui langkah – langkah sebagai berikut :

1. Identifikasi besarnya nilai torsi beban pada motor induksi tersebut. Apabila torsi beban yang digerakkan motor induksi semakin besar maka kecepatan nominal motor induksi akan semakin menurun dari kecepatan nominalnya.
2. Identifikasi tegangan sistem dalam keadaan berbeban (motor induksi). Kondisi tegangan sistem berbanding lurus dengan performa kecepatan nominal motor induksi.

3. Identifikasi kapasitas daya yang dikonsumsi beban (motor induksi). Apabila kapasitas daya yang disuplai tidak cukup untuk melayani beban (motor induksi), maka berdampak pada penurunan tegangan sistem yang mengarah pada penurunan kecepatan nominal motor induksi.

### **2.3 FACTS (*Flexible Alternating Current Transmission System*) Devices**

FACTS *devices* merupakan perangkat kontrol elektronik terpadu yang mengontrol variabel-variabel saluran transmisi seperti impedansi saluran, tegangan sistem dan sudut tegangan secara cepat dan efektif. Dengan demikian FACTS juga sangat berperan untuk menjaga operasi sistem tenaga listrik yang optimal.

Peralatan FACTS sudah banyak digunakan pada sistem tenaga modern untuk menangani masalah penyaluran daya dimana sebagai peralatan elektronika daya terpadu, FACTS sangat mungkin diaplikasikan pada saluran transmisi untuk meningkatkan kemampuan penyaluran daya saluran. Dengan biaya investasi yang relatif lebih murah dan waktu pemasangan yang cepat dibanding dengan membangun saluran transmisi baru, menyebabkan aplikasi peralatan FACTS banyak menjadi pertimbangan utama oleh perusahaan penyedia listrik. Selain pertimbangan biaya investasi, penggunaan FACTS juga didasarkan pada kemampuannya untuk meningkatkan kestabilan transmisi tenaga listrik (Padiyar, 2007), memperbaiki profil tegangan dan keseimbangan daya reaktif serta memperbaiki pembagian beban pada saluran paralel.

FACTS *devices* mempunyai kemampuan untuk menjadikan suatu sistem tenaga listrik dapat beroperasi dengan cara lebih fleksibel, aman, dan ekonomis. Pola pembangkitan tenaga listrik yang mengarah pada pembebanan saluran yang terlampaui berat, akan mengakibatkan rugi-rugi saluran yang lebih tinggi, dan memperlemah keamanan serta stabilitas dari sistem tenaga listrik tersebut. Dalam kondisi demikian, FACTS *devices* bisa digunakan untuk meningkatkan kemampuan sistem, dengan cara mengontrol aliran daya pada saluran transmisi. Di antara beberapa jenis FACTS *devices* salah satunya adalah DSTATCOM (*Distribution Static Compensator*) yang berfungsi mengatur aliran daya reaktif ke sistem untuk memperbaiki profil tegangan dan koreksi faktor daya ( $\cos \phi$ ), sehingga drop tegangan pada sistem dapat ditekan sekecil mungkin.

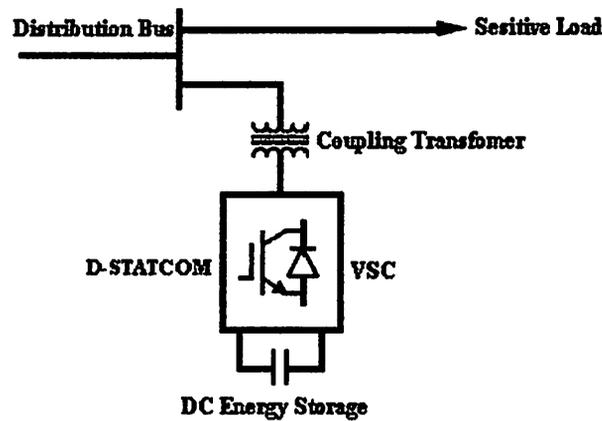
## **2.4 DSTATCOM ( *Distribution Static Compensator* )**

DSTATCOM dikategorikan sebagai teknologi baru dalam bidang kompensator daya reaktif. Pada rangkaiannya, DSTATCOM menggunakan rangkaian konverter yang terdiri dari komponen elektronika daya dan juga media penyimpanan energi untuk pengaturan daya reaktif. Pada sisi pengendalian, DSTATCOM sudah menerapkan skema pengendalian secara digital sehingga memungkinkan kinerja yang optimal dan penerapan teknik pengendalian dengan nilai operasi lebih tinggi. (SajediHir dkk, 2011)

Selain memiliki fungsi sebagai pengendalian daya reaktif, DSTATCOM juga memiliki fungsi dalam memperbaiki parameter lain yang berhubungan dengan kualitas daya listrik dan stabilitas sistem tenaga. Sebagai contoh DSTATCOM dapat meningkatkan stabilitas tegangan sistem yang kemudian akan mengarah pada stabilitas kecepatan nominal motor induksi untuk mempertahankan kecepatan putaran nominalnya meskipun dalam keadaan torsi beban terus meningkat. (SajediHir dkk, 2011)

### **2.4.1 Model DSTATCOM (Distribution Static Compensator)**

Pada sisi aplikasi konfigurasi umum yang digunakan DSTATCOM adalah rangkaian yang menggunakan sumber tegangan (VSC). Hal ini dikarenakan VSC (*Voltage Source Converter*) memiliki kelebihan dibandingkan CSC (*Current Source Converter*) pada sisi biaya dikarenakan penggunaan komponen yang lebih sederhana. Konfigurasi DSTATCOM dengan struktur ini menggunakan media penyimpanan energi yang digunakan dalam pengaturan daya reaktif melalui teknik konverter. Rangkaian konverter yang digunakan umumnya tersusun atas kombinasi dari komponen elektronika daya yang mampu berfungsi sebagai saklar otomatis (IGBT, GTO, IGCT, dan lain-lain) dengan diode yang dihubungkan secara paralel. Kombinasi ini memungkinkan dilakukan teknik converter AC/DC dan DC/AC untuk mengubah sinyal AC menjadi DC dan sebaliknya.



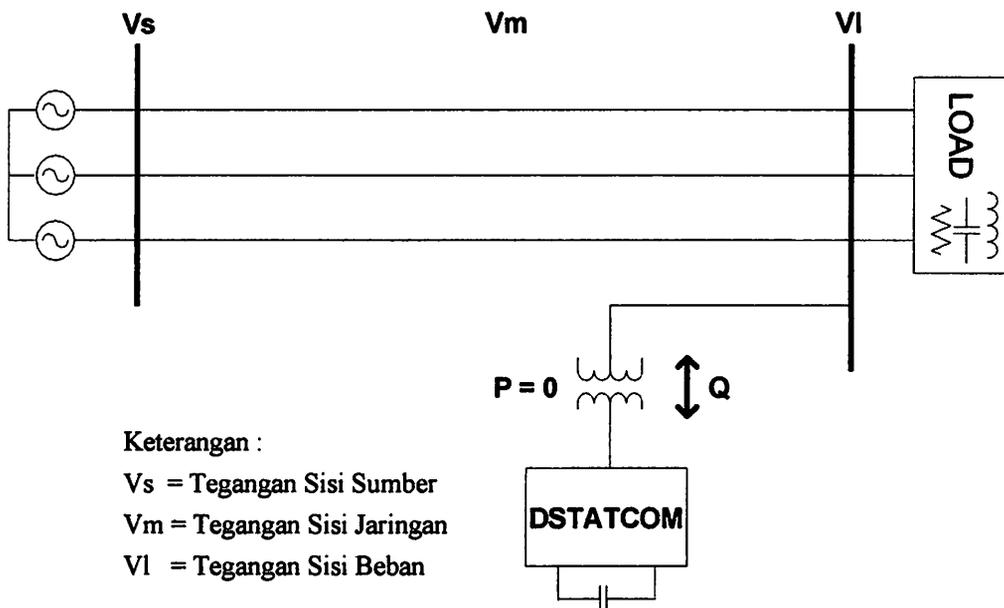
Gambar 2. 8  
Diagram blok fungsional DSTATCOM

Bentuk umum dari *Distribution Static Compensator* terdiri dari suatu gabungan dua level VSC, suatu sumber DC dan trafo penggabungan yang dihubungkan secara *shunt* dengan sistem arus bolak-balik dan unit kontrol yang terhubung. Bentuknya dapat dirancang lebih canggih menggunakan *multipulse* atau konfigurasi *multilevel*. (Nakhoda dkk, 2008)

#### 2.4.2 Prinsip Kerja DSTATCOM (Distribution Static Compensator)

Pengaturan daya reaktif oleh DSTATCOM dengan cara membandingkan besarnya tegangan terminal antara DSTATCOM dengan sistem. Apabila tegangan DSTATCOM bernilai lebih besar maka DSTATCOM akan menyerap daya reaktif dari sistem. Sementara apabila tegangan DSTATCOM bernilai lebih tinggi dari sistem, maka DSTATCOM akan menginjeksi daya reaktif ke sistem. Dengan pengaturan ini DSTATCOM mampu untuk mengkompensasi jumlah daya reaktif yang ada pada sistem. (Mohammadi dkk, 2012)

Secara terstruktur dapat diamati pada gambar 2.8 menunjukkan diagram blok fungsional DSTATCOM, dimana VSC mengkonversi tegangan DC melewati peralatan sampai ke dalam satu keluaran arus bolak-balik tiga fasa. Tegangan ini digabungkan dengan sistem arus bolak-balik melalui reaktansi trafo penggabungan. Penyesuaian terhadap keluaran tegangan DSTATCOM memberikan kontrol yang efektif terhadap daya reaktif dan daya aktif dari DSTATCOM dan sistem arus bolak-balik. Secara umum single line blok diagram DSTATCOM dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2. 9  
Diagram *Single Line* Implementasi DSTATCOM

Persamaan aliran daya pada sistem yang menggunakan DSTATCOM dapat dinyatakan dalam persamaan berikut ini :

$$S = 3 \frac{Vs}{Vc} \sin \alpha - j3 \left( \frac{VsVc}{X_L} \cos \alpha - \frac{Vs^2}{X_L} \right) = P - jQ \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

S = Daya Total (VA)

Vc = Tegangan Terminal DSTATCOM

P = Daya Aktif (Watt)

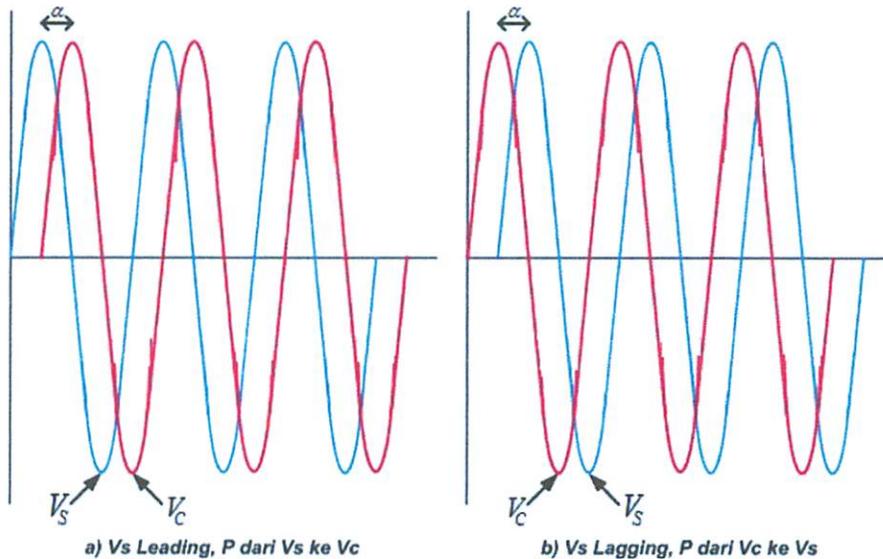
X<sub>L</sub> = Reaktansi Kebocoran (kabel) = ωL

Q = Daya Reaktif (Var)

α = Beda Fasa Antara Vs dan Vc

Vs = Tegangan dari Grid/Sistem

Pada persamaan tersebut variasi α akan memengaruhi aliran daya aktif antara sistem dengan DSTATCOM. Untuk menilai α tertinggal (*lagging*), maka daya aktif akan mengalir dari Vc ke Vs. Sementara untuk nilai α mendahului (*leadding*) maka daya aktif akan mengalir dari Vs ke Vc. Pada keadaan Vs memiliki fasa yang sama dengan Vc (α = 0), maka daya aktif akan bernilai nol.



Gambar 2. 10  
Hubungan  $V_s$  dan  $V_c$  Untuk Pengiriman Daya Aktif

Nilai ( $\alpha = 0$ ) akan didapatkan ketika sistem dalam keadaan stabil (steady-state). Dari sini kita mendapatkan persamaan untuk menentukan besarnya nilai daya reaktif yang bekerja :

$$Q = \frac{V_s}{X_L} (V_c - V_s) \dots\dots\dots (2.7)$$

Dari persamaan di atas dapat kita lihat bahwa nilai daya reaktif yang ada pada sistem ditentukan dari besarnya nilai  $V_s$ ,  $V_c$ , dan  $X_L$ . Ketika  $V_c$  bernilai lebih besar dari pada  $V_s$ , maka daya reaktif yang ada pada sistem akan bernilai positif. Hal ini mengindikasikan bahwa daya reaktif bersifat induktif. Sementara apabila nilai  $V_s$  bernilai lebih besar dari pada  $V_c$ , maka daya reaktif akan bernilai negatif yang menandakan sistem memiliki daya reaktif yang bersifat kapasitif.

Perubahan nilai daya reaktif yang ada pada sistem inilah yang kemudian menjadi dasar pengoperasian DSTATCOM, sehingga DSTATCOM memiliki 3 jenis operasi kerja, yaitu (Khorrami, 2012) :

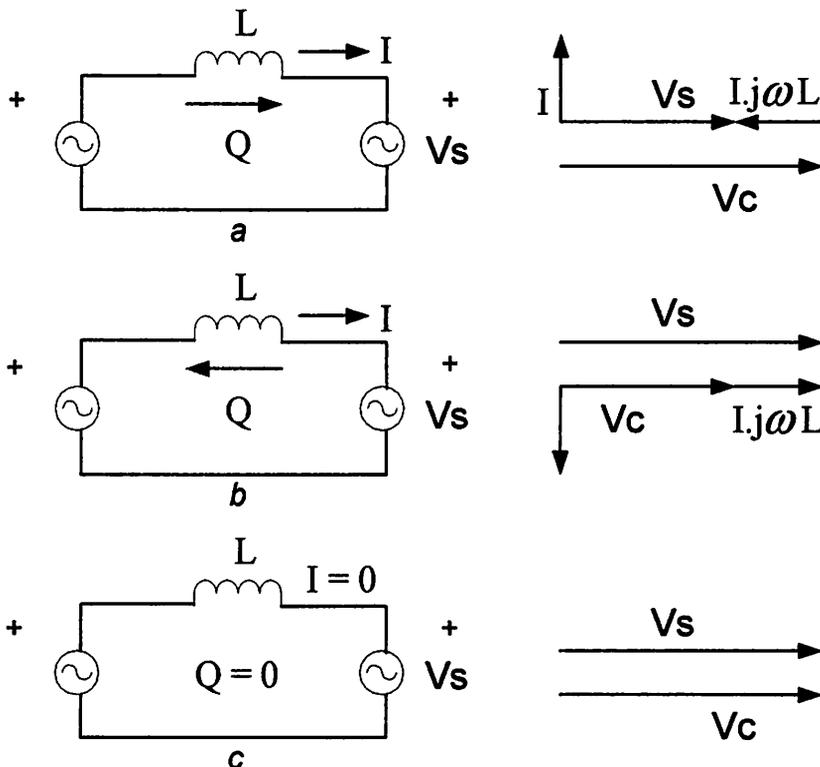
1. Keadaan operasi kapasitif (Mode Kapasitif)
2. Keadaan operasi induktif (Mode Induktif)
3. Keadaan operasi tanpa beban

Untuk keadaan operasi tanpa beban, DSTATCOM tidak akan membangkitkan atau menyerap daya reaktif. Pada keadaan ini besarnya nilai  $V_c$  dan  $V_s$  adalah sama ( $V_s = V_c$ ). Hal ini mengakibatkan daya reaktif yang berada

pada DSTATCOM akan bernilai nol. Dalam persamaan 2.7 juga terlihat apabila  $V_s$  dan  $V_c$  bernilai sama, maka akan dihasilkan nilai daya reaktif yang bernilai nol.

Pada saat  $V_c$  bernilai lebih besar dari  $V_s$ , DSTATCOM berada dalam keadaan operasi kapasitif. Pada kondisi ini, DSTATCOM menganggap adanya reaktansi induktif di sisi terminal yang terhubung dengan sistem. Hal ini akan mengakibatkan daya reaktif mengalir dari DSTATCOM menuju sistem. Sementara apabila  $V_s$  bernilai lebih besar dari  $V_c$  maka DSTATCOM akan menganggap sistem sebagai reaktansi kapasitif. Hal ini akan mengakibatkan daya reaktif mengalir dari sistem menuju DSTATCOM. Dalam kondisi ini DSTATCOM dikatakan operasi dalam kondisi mode induktif.

Untuk memperjelas mengenai prinsip kerja dasar dan juga keadaan operasi DSTATCOM dapat dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2. 11  
Prinsip Kerja DSTATCOM : a) Operasi Kapasitif,  
b) Operasi Induktif, c) Operasi Tanpa Beban

### **BAB III**

## **IMPLEMENTASI *DISTRIBUTION STATIC COMPENSATOR* PADA SISTEM JARINGAN PDAM WENDIT KOTA MALANG**

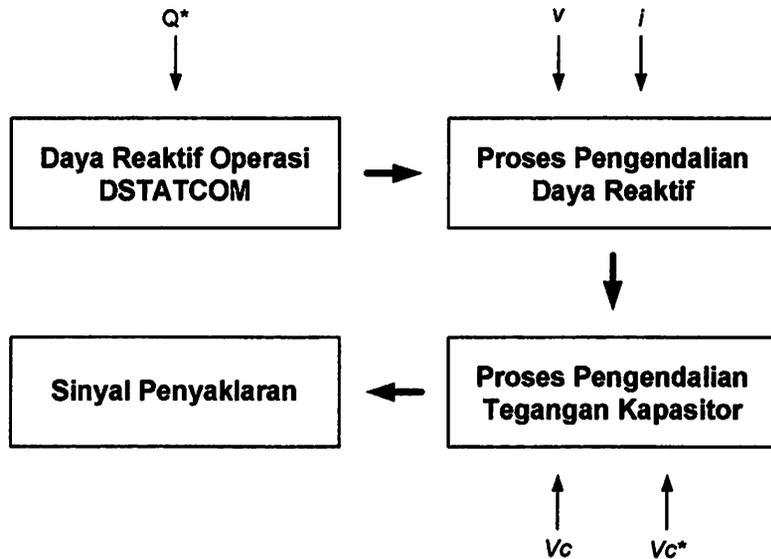
### **3.1 Metode Pengendalian DSTATCOM (*Distribution Static Compensator*)**

Pada dasarnya, metode pengendalian DSTATCOM bertindak sebagai pengatur tegangan terminal DSTATCOM untuk menyesuaikan kondisi tegangan pada sisi jaringan. Dengan demikian, DSTATCOM akan mampu melakukan proses pengendalian daya reaktif pada sistem secara tepat. (Yusak dkk, 2011)

Dalam menentukan pengendalian DSTATCOM terdapat beberapa faktor yang menjadi pertimbangan. Hal ini terkait dengan konfigurasi rangkaian dan kebutuhan operasi DSTATCOM. Faktor – faktor tersebut terdiri dari tipe aplikasi, konfigurasi sistem, kebutuhan operasi kerja, dan optimasi kerugian. Dengan demikian faktor – faktor tersebut akan mempengaruhi perancangan metode pengendalian DSTATCOM, sehingga memungkinkan banyak metode pengendalian pada DSTATCOM. Salah satu metode tersebut adalah metode modulasi lebar pulsa (PWM) yaitu metode yang digunakan dalam studi ini untuk pengendalian kerja converter.

Pada pengendalian DSTATCOM dengan metode PWM, parameter utama untuk mengendalikan tegangan DSTATCOM adalah sudut fasa ( $\alpha$ ) dan indeks modulasi ( $m$ ). metode ini akan mengatur nilai tegangan AC pada terminal DSTATCOM dengan menjaga nilai  $V_{dc}$  tetap.

Alur proses pengendalian DSTATCOM secara umum dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3. 1  
Alur Proses Pengendalian DSTATCOM

Alur tersebut menjelaskan proses pengendalian DSTATCOM secara sederhana. Besarnya nilai daya reaktif yang bekerja pada sistem akan digunakan sebagai masukan untuk penentuan nilai kompensasi pada DSTATCOM. Selanjutnya akan dilakukan proses pengendalian daya reaktif dengan memasukkan nilai parameter tegangan dan arus dari sistem. Pada tahap berikutnya, juga dilakukan proses pengendalian tegangan kapasitor dengan menggunakan nilai masukan tegangan kapasitor pada sistem dan tegangan kapasitor yang ditentukan. Dengan menggabungkan antara pengendalian daya reaktif dan tegangan kapasitor, selanjutnya akan digunakan untuk menentukan sinyal penyaklaran yang berfungsi sebagai pengatur rangkaian konverter untuk menentukan besarnya tegangan DSTATCOM sebagai pengendalian daya reaktif. (Yusak dkk, 2011)

### 3.2 Mekanisme Pengendalian Daya Reaktif Terhadap Kecepatan Nominal Motor Induksi

Pada umumnya daya reaktif memiliki hubungan yang erat terhadap tegangan. Akan tetapi jika diamati lebih jauh daya reaktif juga memiliki hubungan terhadap kecepatan nominal motor induksi. Implementasi DSTATCOM sebagai pengendalian daya reaktif dapat berfungsi sebagai kontrol kecepatan nominal motor induksi terhadap meningkatnya torsi beban. Kontrol yang diberikan

DSTATCOM untuk meningkatkan stabilitas kecepatan nominal motor induksi, pada dasarnya sama dengan kontrol yang diberikan untuk meningkatkan stabilitas tegangan yaitu melalui pengendalian daya reaktif. (Budi dkk, 2012)

Pengendalian daya reaktif ke sistem akan memberikan pengaruh terhadap  $\cos \phi$  dan tegangan sistem yang mengarah pada performa kecepatan nominal motor induksi. Oleh karena itu, dengan meningkatkan nilai  $\cos \phi$  untuk stabilitas tegangan sistem melalui pengendalian daya reaktif, maka kecepatan nominal motor induksi akan meningkat.

Selain itu performa kecepatan nominal motor induksi dipengaruhi oleh besarnya nilai torsi beban, dimana torsi beban akan selalu berbanding terbalik dengan kecepatan nominal motor induksi. Adapun hubungan matematis pengendalian daya reaktif terhadap torsi dan kecepatan nominal motor induksi, dapat direpresentasikan melalui persamaan berikut :

$$\tau = \frac{P}{\omega_r} \dots\dots\dots (3.1)$$

$$\omega_r = \frac{P}{\tau} \dots\dots\dots (3.2)$$

$$P_m = S \cos \theta \dots\dots\dots (3.3)$$

$$Q_{sys} = S \sin \theta_1 \dots\dots\dots (3.4)$$

$$Q_{kom} = Q_{sys} - Q_{kor} \dots\dots\dots (3.5)$$

$$Q_{kom} = S \sin \theta_2 \dots\dots\dots (3.6)$$

$$\sin \theta_2 = \frac{Q_{komp}}{S} \dots\dots\dots (3.7)$$

Sehingga  $\theta_2 < \theta_1$ , artinya  $\cos \theta$  meningkat. Jika torsi beban dianggap tetap, maka dengan meningkatnya  $\cos \theta$  akan meningkatkan kecepatan nominal motor induksi ( $N_r = \omega_r$ ) yang dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\omega_r = \frac{S \cos \theta}{\tau} \dots\dots\dots (3.8)$$

Dimana:

$\tau$  = Torsi (N-m)

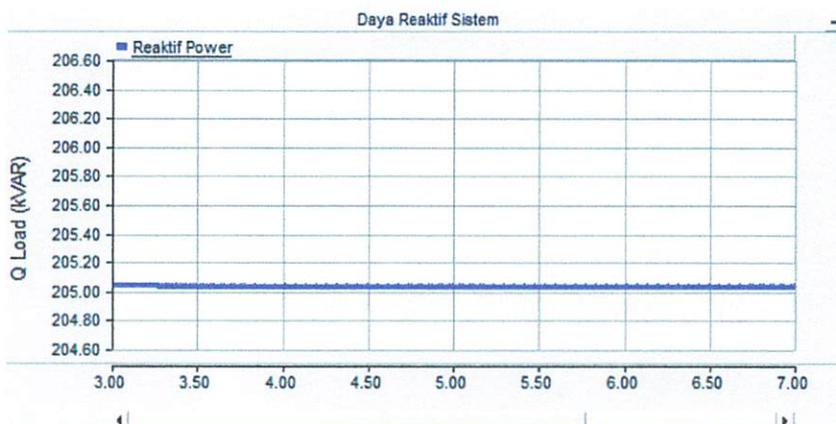
P = Daya aktif motor (Watt)

$\omega_r$  = Kecepatan rotor (rad/sec)

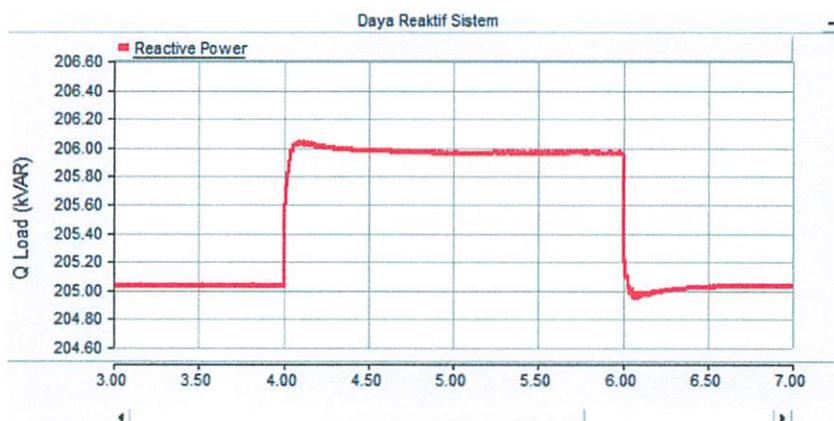
- $S$  = Daya total sistem (VA)  
 $Q_{sys}$  = Daya reaktif sistem (VAR)  
 $Q_{kor}$  = Koreksi daya Reaktif (VAR)  
 $Q_{kom}$  = Kompensasi daya reaktif (VAR)  
 $\theta_1$  = Sudut antara daya total dengan daya aktif (sebelum kompensasi)  
 $\theta_2$  = Sudut antara daya total dengan daya aktif (setelah kompensasi)  
 $\cos \theta$  = Faktor Daya

### 3.2.1 Alur Pengendalian Daya Reaktif Terhadap kecepatan Nominal Motor Induksi

Jika diketahui kondisi *base case* untuk beban total 383.42 kVA dengan  $\cos \phi$  0.845, sehingga daya reaktif sistem sebesar 205 kVAR seperti pada gambar 3.2 di bawah ini.

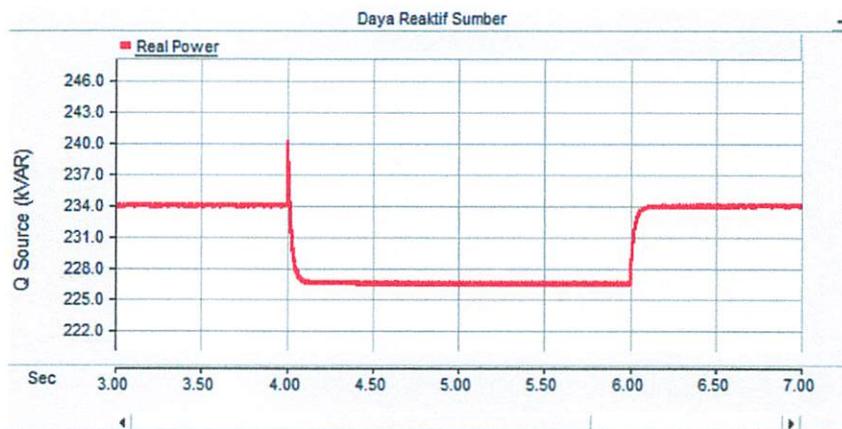


Gambar 3. 2  
Grafik Daya Reaktif Sistem Kondisi *Base Case*



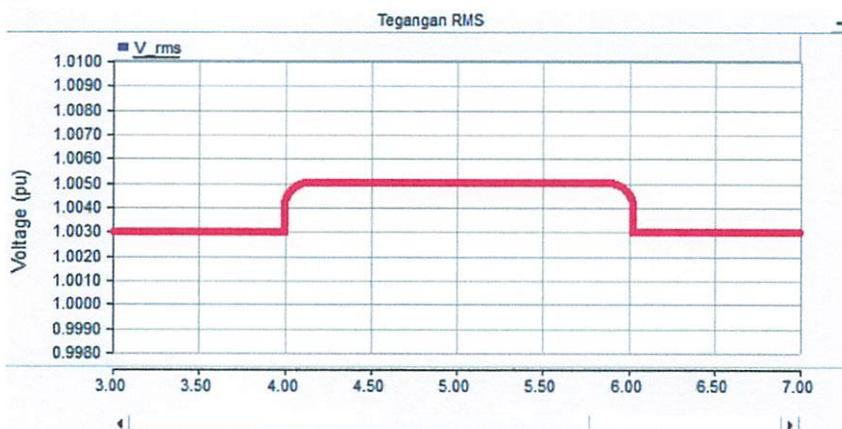
Gambar 3. 3  
Grafik Injeksi Daya Reaktif Ke Sistem

Pada gambar 3. 3 menunjukkan injeksi daya reaktif ke sistem pada 4 detik – 6 detik, menyebabkan Q koreksi 1 kVAR untuk meningkatkan  $\cos \phi$  dari 0.845 menjadi 0.848. Hal ini menyebabkan pada saat itu juga daya reaktif sumber terkompensasi, sehingga suplai daya reaktif dari sumber menurun dari kondisi *base case* nya, seperti pada gambar 3.4.



Gambar 3. 4  
Grafik Daya Reaktif Sumber Setelah Dikompensasi

Selain itu, kondisi tegangan RMS naik dari 1.003 pu (kondisi *base case*) menjadi 1.005 pu.



Gambar 3. 5  
Grafik Tegangan RMS Setelah Kompensasi Daya Reaktif

Gambar 3.5 menunjukkan tegangan RMS setelah kompensasi daya reaktif meningkat menjadi 1.005 pu, seiring meningkatnya  $\cos \theta$ .

Pada akhirnya kenaikan tegangan tersebut mengarah pada peningkatan kecepatan nominal motor induksi melalui pengendalian daya reaktif. Sehingga dari persamaan 3.8, jika terjadi injeksi daya reaktif ke sistem sebesar 1 kVAR,

sedangkan torsi beban dianggap tetap maka kecepatan nominal motor induksi akan meningkat seiring meningkatnya  $\cos\theta$  dan tegangan sistem.

### 3.3 PWM (*Pulse Wide Modulation*) pada Rangkaian VSC (*Voltage Source Converter*)

Pada pemodelan VSC yang berbasis PWM ini, dimana VSC terdiri dari komponen diode dengan GTO yang dirangkai secara *shunt*, akan dibangkitkan oleh sinyal PWM untuk mensaklar *gate signal* pada rangkaian VSC tersebut yang terhubung dengan sumber DC kapasitor, mengingat DSTATCOM sebagai control tegangan dari proses pengendalian daya reaktif. Model VSC terdiri dari enam pulse GTO dan dioda (*shunt*) dengan sumber DC kapasitor yang telah ditentukan sebesar 10.0612 F untuk mengcover kebutuhan daya reaktif dari total beban berdaya 4 x 200 kW, dan sinyal PWM dengan switching frekuensi 5 kHz. Besarnya DC kapasitor untuk beban penuh 800 kW dapat direpresentasikan sebagai berikut :

Diketahui : Daya Aktif <sub>(Full Load)</sub> = 4 x 200 kW = 800 kW

Daya Total <sub>(System)</sub> = 1250 kVA

Frekuensi <sub>(System)</sub> = 50 Hz

Maka :

$$P = S \cos \theta \Rightarrow \cos \theta = \frac{P}{S} \dots\dots\dots (3.9)$$

$$\cos \theta = \frac{4(200kW)}{1250kVA} = 0.64 \Rightarrow \theta = 50.2$$

$$Q = S \sin \theta \dots\dots\dots (3.10)$$

$$Q = 1250kVA \times \sin(50.2) = 960.4kVAR$$

$$S = V \times I \dots\dots\dots (3.11)$$

$$I = \frac{V}{Xc} \Rightarrow Xc = \frac{1}{2\pi fC} \dots\dots\dots (3.12)$$

Dari substitusi persamaan 3.11 dan 3.12, maka didapatkan persamaan :

$$Q = V \times I \sin \theta \dots\dots\dots (3.13)$$

Dari substitusi persamaan 3.12 dan 3.13, maka didapatkan persamaan :

$$Q = V \times \frac{V}{X_c} \sin \theta \dots\dots\dots (3.14)$$

Karena  $X_c = \frac{1}{2\pi f C}$ , maka :

$$Q = V^2 \sin \theta \times 2\pi f C \dots\dots\dots (3.15)$$

Sehingga untuk menentukan besarnya DC Kapasitor sebagai pengendalian kebutuhan daya reaktif sistem, dapat direpresentasikan melalui persamaan berikut:

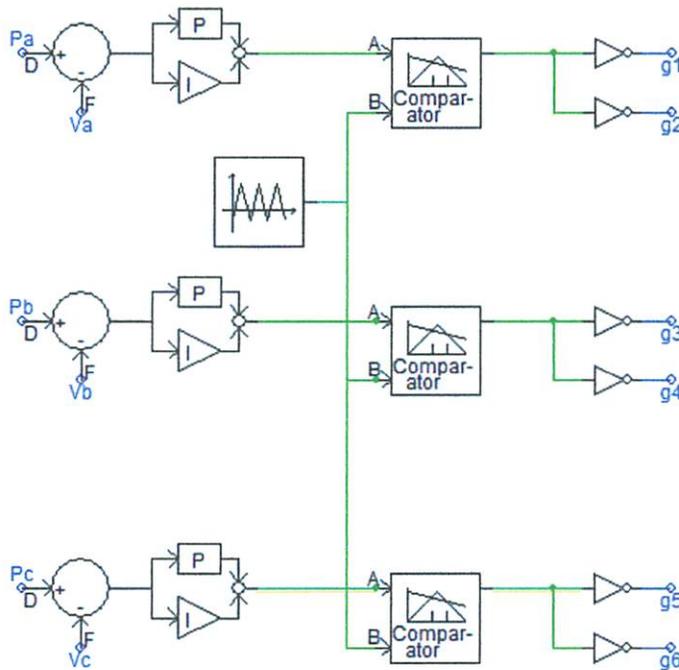
$$C = \frac{Q}{V^2 \sin \theta \times 2\pi f} \dots\dots\dots (3.16)$$

Jika tegangan terminal sistem 380 Volt, maka :

$$C = \frac{960.4 \times 10^3}{380^2 \sin 50.2 \times 2 \times 3.14 \times 50} = 10.0612 F$$

Hasil dari perhitungan diatas menyatakan bahwa besarnya DC Kapasitor pada DSTATCOM yang disediakan sebagai pengendalian daya reaktif untuk total beban sebesar 800 kW di PDAM Wendit Kota Malang adalah 10.0612 F.

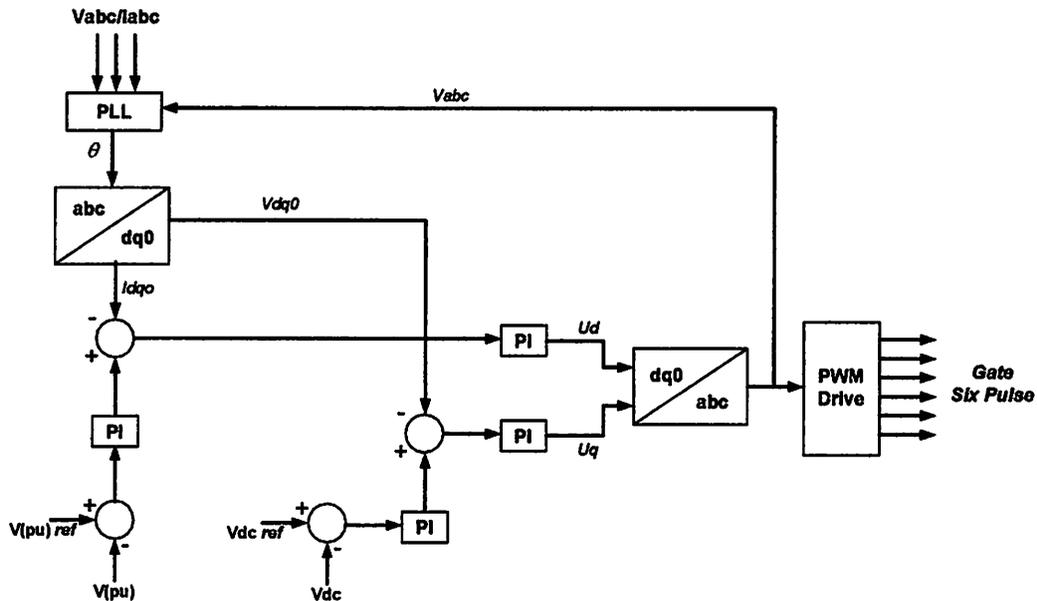
Tegangan DC kapasitor (VDC) yang diperlukan sistem tersebut akan dikontrol melalui kontrol DSTATCOM yang kemudian menginjeksikan arus dan tegangan tiga fasa dari konverter ke sistem tiga fasa. Pemodelan tersebut ditunjukkan pada gambar 3.6 dibawah ini.



Gambar 3. 6  
Rangkaian Modulasi Lebar Pulsa pada VSC

Sinyal  $P_a$ ,  $P_b$ , dan  $P_c$  adalah sinyal referensi untuk PWM dari kontrol DSTATCOM, sedangkan  $V_a$ ,  $V_b$ , dan  $V_c$  adalah sinyal *feed back* dari tegangan terminal sistem tiga fasa yang menjadi tegangan referensi input pada kontrol DSTATCOM. Kemudian sinyal – sinyal tersebut dilewatkan kontrol PI (*propotional Integral*) untuk dipertahankan tegangan yang diperlukan oleh sistem tiga fasa sebelum melewati rangkaian konverter. Setelah melewati kontrol PI sinyal akan dibandingkan oleh komparator dengan switching frekuensi 5 kHz yang selanjutnya digunakan untuk mensaklar enam *pulse* ( $g_1$  sampai  $g_6$ ) pada komponen VSC.

### 3.4 Kontrol Jaringan



Gambar 3. 7  
Kontrol Jaringan dari Persamaan d-q Teory

Kontrol pada studi implementasi DSTATCOM ini menggunakan kontrol matematis d-q theory. Kontrol tersebut akan digunakan untuk kontrol tegangan yang berbasis PWM dari referensi input matematis d-q theory. Tujuan dari sekema kontrol ini untuk menjaga agar tegangan tetap konstan pada sisi beban meskipun beban tersebut dapat menyebabkan ketidakstabilan tegangan ketika beroperasi ke sistem. Secara tidak langsung kontrol tegangan yang diberikan akan memberikan kontrol terhadap kecepatan nominal motor induksi meskipun torsi beban beroperasi terus meningkat. Oleh karena itu kontrol DSTATCOM dengan menggunakan matematis d-q theory sangat efektif untuk meningkatkan stabilitas tegangan dan kecepatan nominal motor induksi.

Gamabr 3.7 menjelaskan alur proses kontrol DSTATCOM dengan matematis d-q theory. Pada rangkaian kontrol ini elemen 3 fasa kerangka acuan tetap tegangan dan arus pada beban (*load*) menjadi referensi input PLL (*Phase Locked Loop*) untuk diproses menjadi sebuah sudut ( $\theta$ ), sebagai salah satu input untuk mengubah menjadi elemen 2 fasa acuan bergerak *Direct-Quadrature* (dq). Sedangkan untuk mempresentasikan persamaan kerangka elemen 3 fasa (a, b, c) menjadi elemen 2 fasa *Direct-Quadrature* (dq), dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$\begin{bmatrix} Vq \\ Vd \\ V0 \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos(\theta - 120^\circ) & \cos(\theta + 120^\circ) \\ \sin \theta & \sin(\theta - 120^\circ) & \sin(\theta + 120^\circ) \\ 0.5 & 0.5 & 0.5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Va \\ Vb \\ Vc \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3.17)$$

Selanjutnya proyeksi sistem ini menghasilkan tegangan dan arus ( $V_{dq}$ ,  $I_{dq}$ ) dari beban. Untuk sinyal keluaran  $I_{dq}$  dibandingkan dengan tegangan rms beban melalui rangkaian PI untuk membentuk sinyal  $U_d$ . Sehingga DSTATCOM akan mendeteksi kondisi tegangan rms dan arus 3 fasa (a, b, c) pada sistem. sedangkan sinyal keluaran  $V_{dq}$  dibandingkan dengan sumber DC kapasitor pada VSC melalui rangkaian PI untuk membentuk sinyal  $U_q$ . Sehingga DSTATCOM bekerja menginjeksikan maupun menyerap daya reaktif pada sistem.

Hasil keluaran sinyal ( $U_d$ ,  $U_q$ ) adalah referensi elemen 2 fasa acuan bergerak yang diubah menjadi elemen 3 fasa acuan tetap (kompensasi), dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{bmatrix} Va \\ Vb \\ Vc \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 1 \\ \cos(\theta - 120^\circ) & \sin(\theta - 120^\circ) & 1 \\ \cos(\theta + 120^\circ) & \sin(\theta + 120^\circ) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Vq \\ Vd \\ V0 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3.18)$$

Sehingga dari persamaan tersebut menghasilkan sinyal output ( $U_a$ ,  $b$ ,  $c$ ) yang akan dijadikan masukan pada kontrol modulasi lebar pulsa (PWM). Persamaan tersebut berlaku untuk transformasi arus maupun tegangan dari tiga fasa menjadi dua fasa maupun sebaliknya, serta dapat digunakan untuk sistem kontrol dengan tiga input menjadi dua output atau sebaliknya, terkecuali dengan transformasi khusus ( $\alpha\beta 0$ ).

### **3.5 *Software PSCAD/EMTDC V 4.2 Power Simulation***

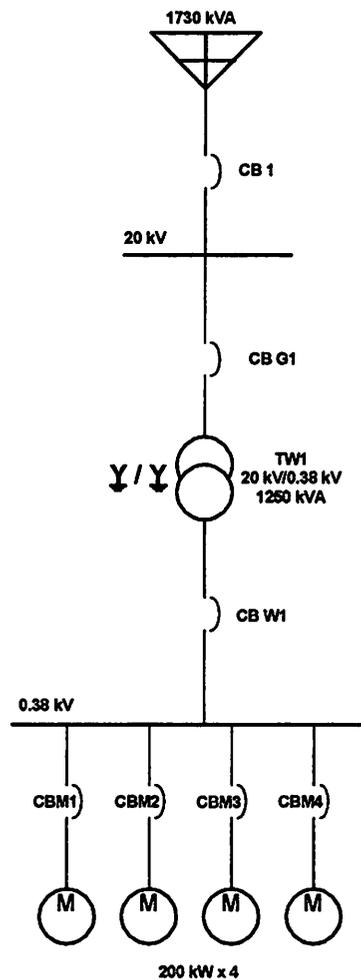
PSCAD (*Power System Computer Audit Design*) adalah *graphical user interface* yang sangat baik dan fleksibel. PSCAD memungkinkan pengguna menggambar mengkonstruksi sebuah rangkaian, menjalankan sebuah simulasi, analisa hasil dan manajemen data terintegrasi secara lengkap. Penggambaran, pengontrolan dan pengukuran juga tersedia, jadi pengguna dapat mengubah parameter sistem, menjalankan simulasi dan melihat hasil secara langsung.

Dibawah ini adalah model umum yang terdapat di dalam studi sistem menggunakan PSCAD/EMTDC:

- *Resistors, inductors, capacitors*
- *Mutually coupled windings, such as transformers*
- *Frequency dependent transmission lines and cables (including the most accurate time domain line model in the world)*
- *Current and voltage sources*
- *Switches and breakers*
- *Protection and relaying*
- *Diodes, thyristors, GTOs, IGBTs*
- *Analog and digital control functions*
- *AC and DC machines, exciters, governors, stabilizers and inertial models*
- *Meters and measuring functions*
- *Generic DC and AC controls*
- *HVDC, SVC, and other FACTS controllers*
- *Wind source, turbines and governor*

### 3.3 Sistem Jaringan 0.38 kV di PDAM Wendit Kota Malang

PDAM Wendit Kota Malang adalah salah satu sumber air PDAM Kota Malang yang terletak di Jl. Wendit Kota Malang dan berdiri sejak 1980 dengan 4 unit motor induksi masing – masing berdaya 200 kW sebagai penggerak pompa PDAM tersebut. Dari keempat unit motor tersebut 3 unit motor diantaranya beroperasi selama 1000 jam dan 1 unit motor beroperasi *standby*. Sejak didirikannya PPDAM Wendit sampai sekarang masih menggunakan sistem kelistrikan yang relatif masih klasik seperti motor induksi yang digunakan saat ini. Tanpa disadari performa dari motor induksi tersebut semakin mengalami penurunan kecepatannya, sehingga akan berdampak pada kinerja pompa untuk suplai air kepada pelanggannya. Berikut adalah *single line* dari jaringan PDAM Wendit Kota Malang.



Gambar 3. 8  
Single Line Sistem Tenaga Listrik PDAM Wendit Kota Malang

Gambar 3.8 menunjukkan sistem jaringan 20 kV PDAM Wendit Kota Malang, terdiri dari satu sumber 3 fasa dengan tegangan 0.38 kV yang di hubungkan secara *parallel* pada sebuah trafo *step-down* dengan perbandingan primer dan skunder 20 / 0.38 kV. Sistem ini mempunyai 4 beban motor induksi masing – masing berdaya 200 kW dengan tegangan 0.38 kV.

### 3.5.1 Data Sistem PDAM Wendit Kota Malang

- **Data Sumber**

Daya : 1730 kVA

Tegangan : 20 kV

Frekuensi : 50 Hz

- **Data Trafo**

Daya : 1250 kVA

Tegangan : 20/0.38 kV

Frekuensi : 50 Hz

Hubungan : Y/Y

Tabel 3. 1  
Data Nameplate Sistem PDAM Wendit Kota Malang

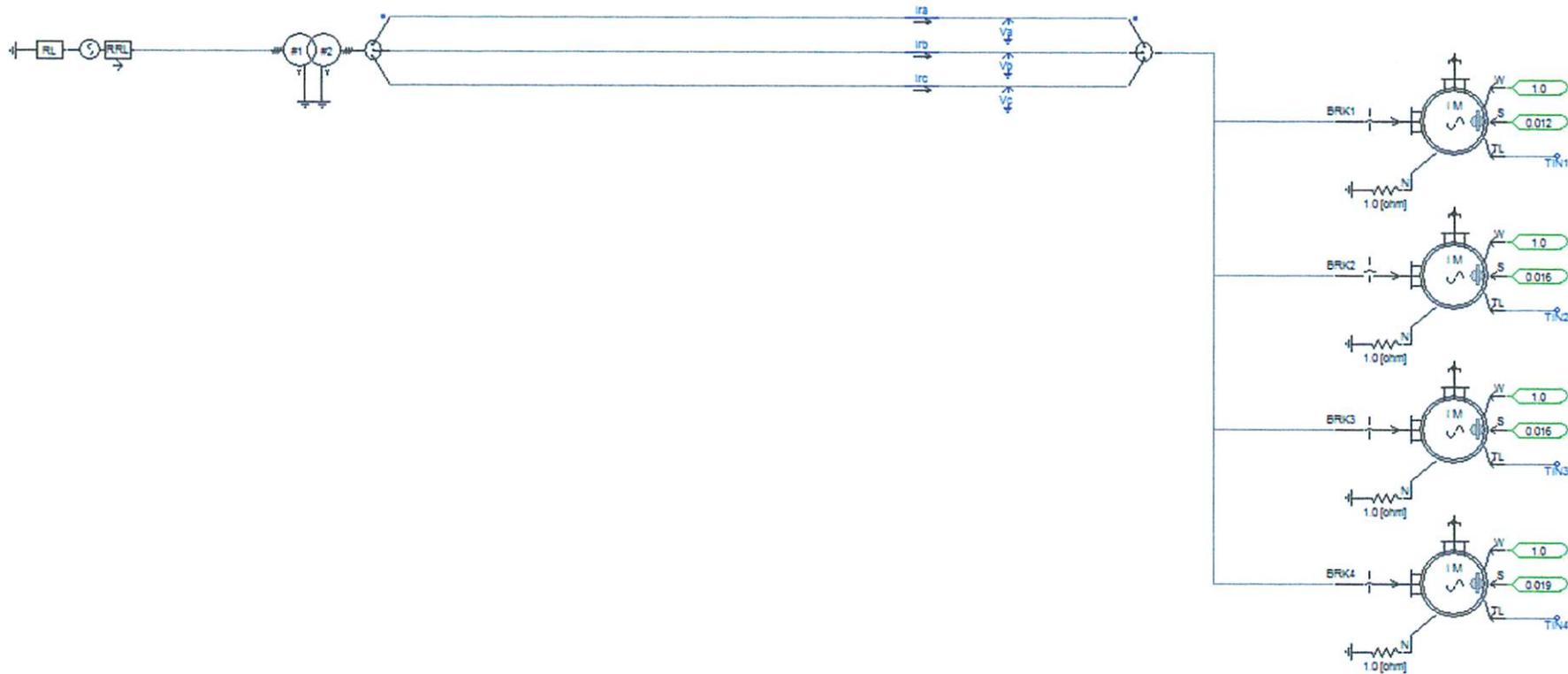
NO	TRANSFORMATOR	MOTOR						POMPA			
		V (Volt)	I (Ampere)	P (kW)	Cos Phi	RPM	F (Hz)	V (Volt)	P (kW)	RPM	Lt/Sec
1	20/0.38 kV 1250 kVA 50 Hz	380	352	200	0.86	1476	50	380/660	200	1476	150
2		380	352	200	0.87	1476	50	380/661	200	1476	150
3		380	352	200	0.88	1476	50	380/662	200	1476	150
4		380	352	200	0.89	1476	50	380/663	200	1476	150

Tabel 3. 2  
Data Sistem PDAM Wendit Berdasarkan Hasil Pengukuran

Nama	V (volt)			I (Ampere)			S (kVA)			P (kW)	Q (kVar)	Cos Phi	F (Hz)	RPM	Lt/sec
	R	S	T	R	S	T	R	S	T						
MOTOR 1	385	387	388	192	198	189	73,76	76,47	73,1	186,205	122,69	0,835	49,25	1482	362
MOTOR 2															
MOTOR 3	387	386	387	192	197	188	74,34	76,19	72,6	183,63	126,73	0,823	49,22	1476	
MOTOR 4	385	388	388	191	198	188	73,65	76,7	73	189,03	136,84	0,81	49,23	1472	

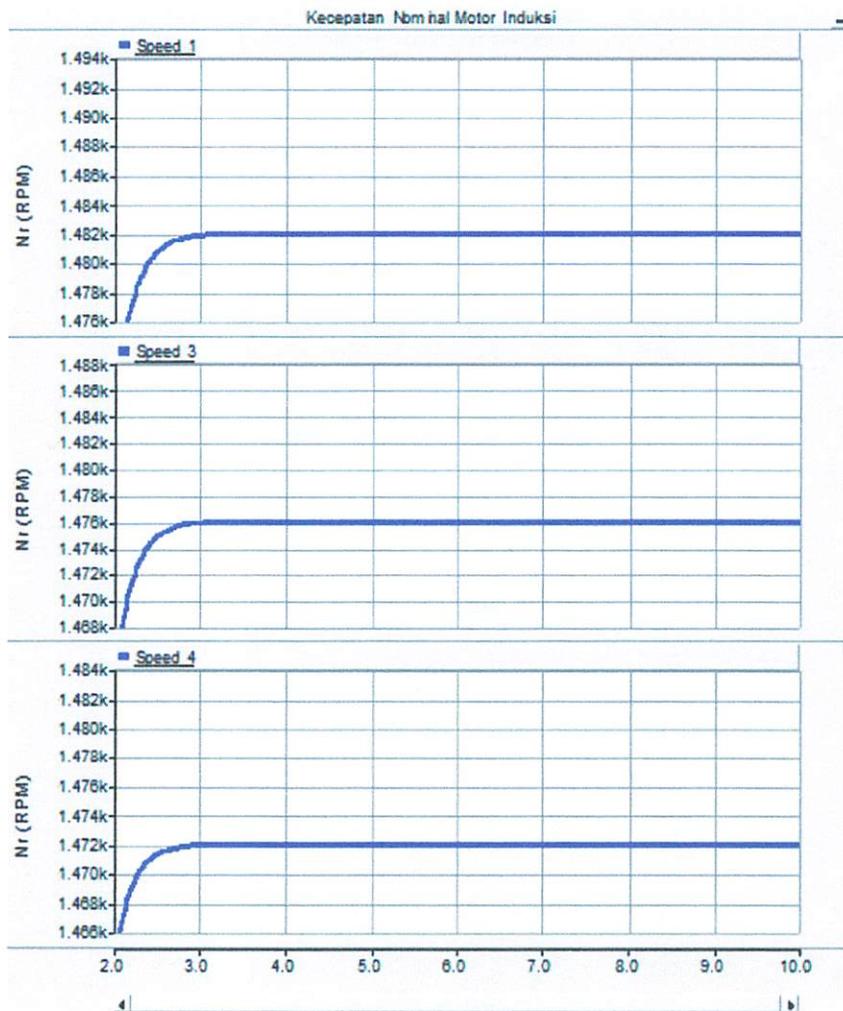
Tabel 3. 3  
Data Operasional Sistem PDAM Wendit Kota Malang

Tegangan Sistem 3 motor (volt)						Arus Sistem 3 Motor (Ampere)	Cos Phi	Flow (lt/sec)	Actualizer (m <sup>3</sup> )
R-0	S-0	T-0	R-S	S-T	T-R				
221	220	222	382	382	381	1009	0.845	362	955249

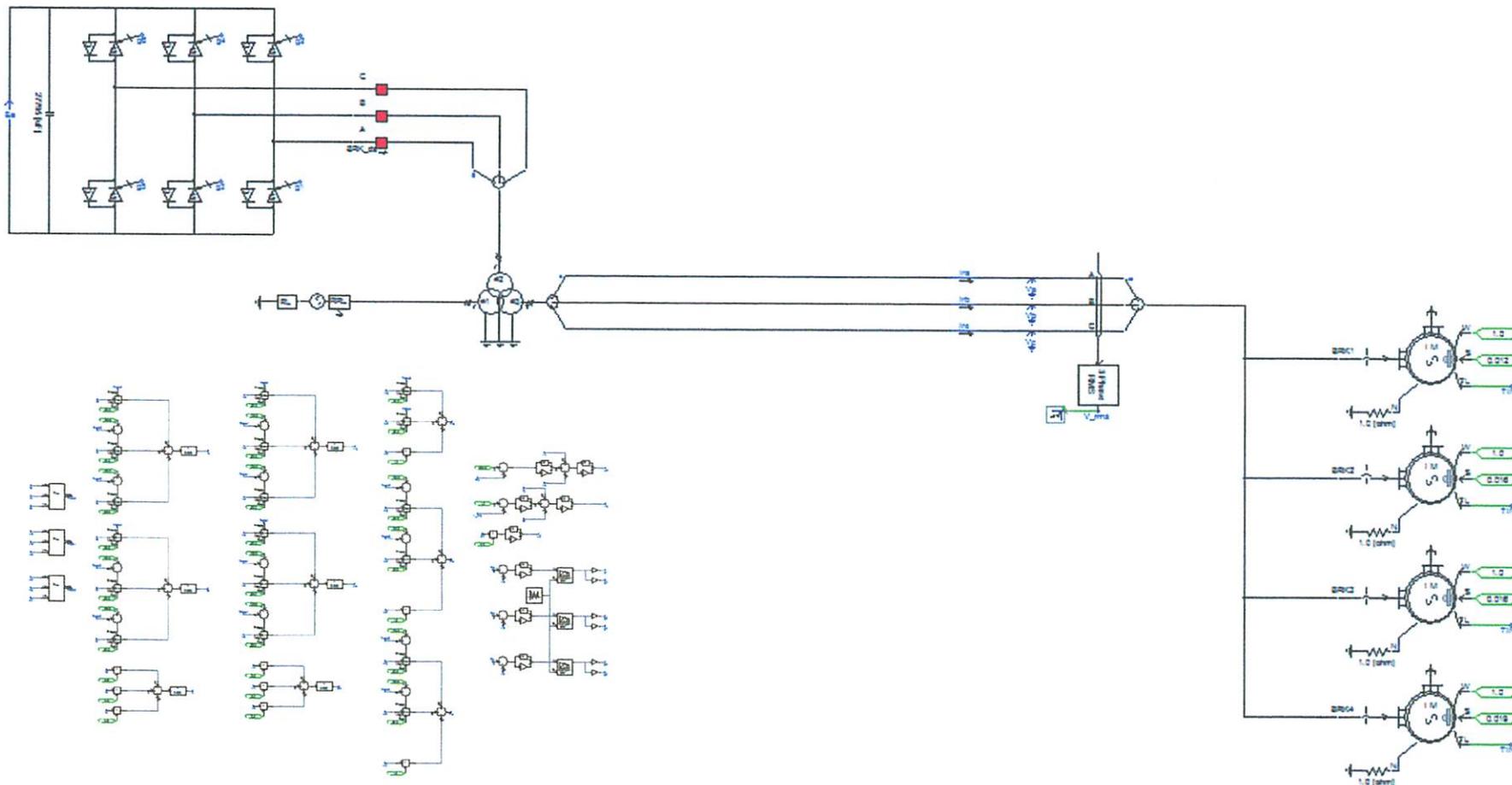


Gambar 3. 9  
*Single Line* Sistem Tenaga Listrik PDAM Wendit Kota Malang dalam PSCAD

- Tampilan hasil *running simulation* kecepatan nominal motor induksi dalam kondisi *base case*



Gambar 3. 10  
Grafik Kecepatan Nominal Motor Induksi 1, 3, dan 4 Kondisi *Base Case*

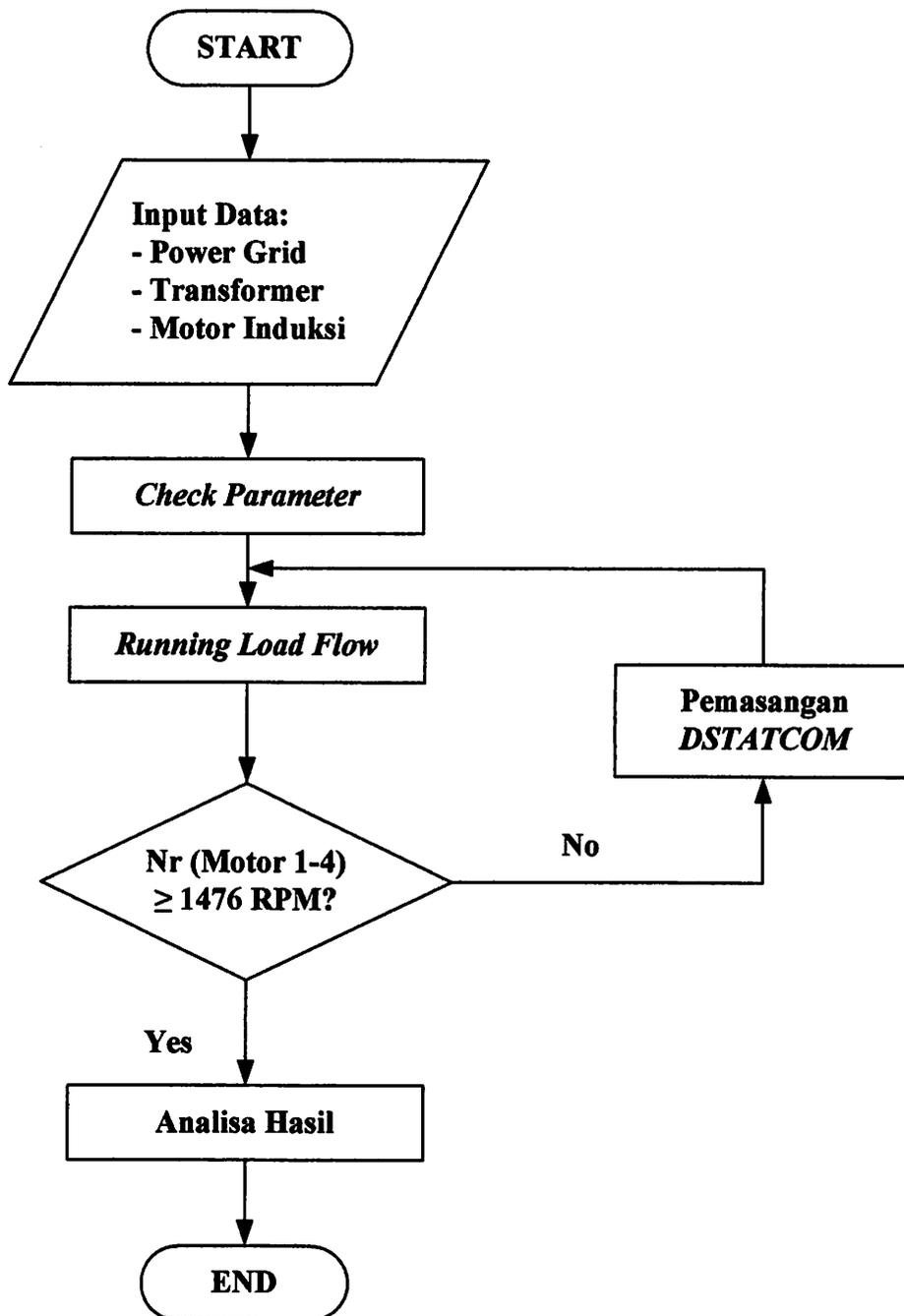


Gambar 3. 11  
*Single Line* Sistem Tenaga Listrik PDAM Wendit Kota Malang Setelah Pemasangan DSTATCOM dalam PSCAD

Gambar 3.11 menerangkan *single line* diagram pada PDAM Wendit Kota Malang dengan pemasangan DSTATCOM pada *software* PSCAD. Terlihat bahwa DSTATCOM di pasang secara paralel melewati coupling trafo pada jaringan. Pemasangan tersebut dikarenakan DSTATCOM berperan sebagai kontrol tegangan melalui pengendalian daya reaktif untuk stabilitas tegangan yang mengarah pada stabilitas kecepatan nominal motor induksi.

### 3.6 Flowchart Hasil Simulasi Menggunakan Software PSCAD/EMTDC

#### 3.6.1 Flowchart Penyelesaian Masalah

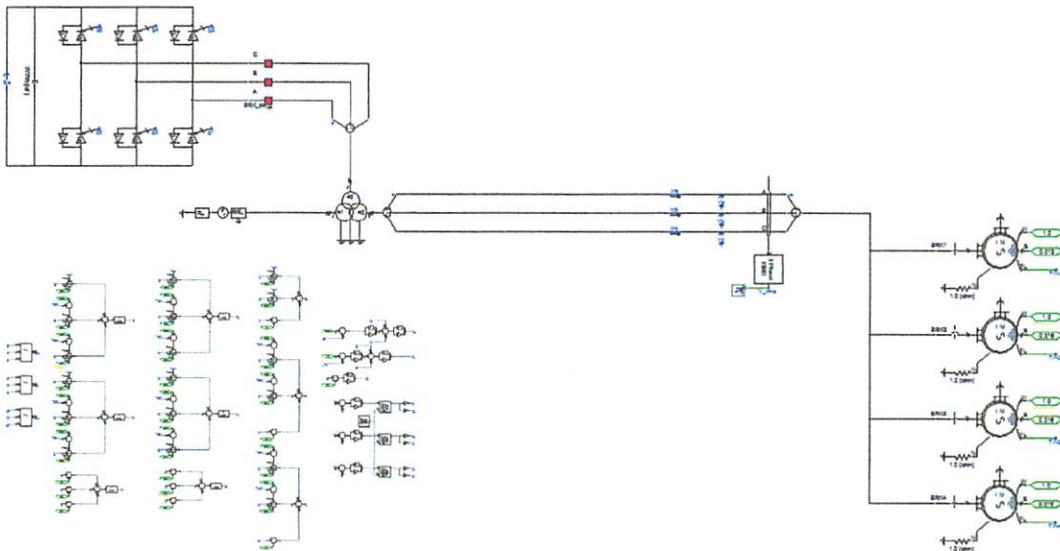


Gambar 3. 12  
Flowchart Penyelesaian Masalah

## BAB IV HASIL DAN ANALISA HASIL

### 4.1 *Single Line* Sistem Kelistrikan di PDAM Wendit Kota Malang

Pada simulasi akan dilakukan pengambilan data dengan perbandingan saat menggunakan DSTATCOM dan tanpa menggunakan DSTATCOM. Setelah itu hasil kecepatan nominal motor induksi akan dianalisa dan dapat dilihat seberapa besar kemampuan DSTATCOM dalam meningkatkan kecepatan nominal motor induksi. Untuk mensimulasikan sistem dalam software *PSCAD Power Simulation* maka terlebih dahulu digambarkan *single line* sistem jaringan PDAM Wendit Kota Malang. Kemudian mensimulasikan sesuai dengan langkah kerja dan menganalisa hasilnya. Berikut *single line* sistem PDAM Wendit Kota Malang yang digambarkan menggunakan software *PSCAD/EMTDC Power Simulation*.

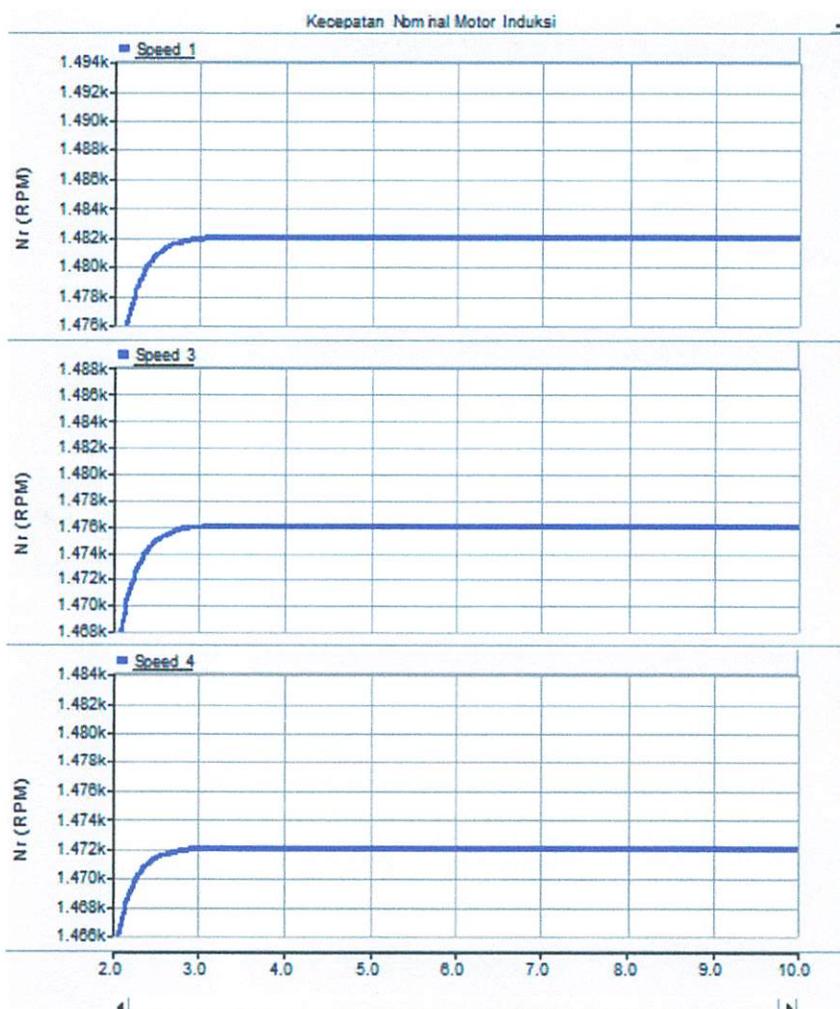


Gambar 4. 1  
*Single Line* Sistem Tenaga Listrik dengan DSTATCOM  
di PDAM Wendit Kota Malang dalam PSCAD

## 4.2 Solusi Meningkatkan Kecepatan Nominal Motor Induksi

*Software PSCAD/EMTDC Power Simulation* merupakan *graphical user interface* yang fleksibel dan *powerful*. Dengan *software* ini secara skematik kita dapat mengkonstruksi rangkaian, menjalankan simulasi, menganalisa hasil dan manajemen data dalam sebuah integrasi yang lengkap dalam hal grafis, termasuk kontrol dan alat-alat ukur. Dengan demikian permasalahan yang ada pada PDAM Wendit Kota Malang dan solusi yang ingin diberikan dapat dilakukan menggunakan *software* PSCAD.

### 4.2 Hasil Simulasi Sebelum Pemasangan DSTATCOM

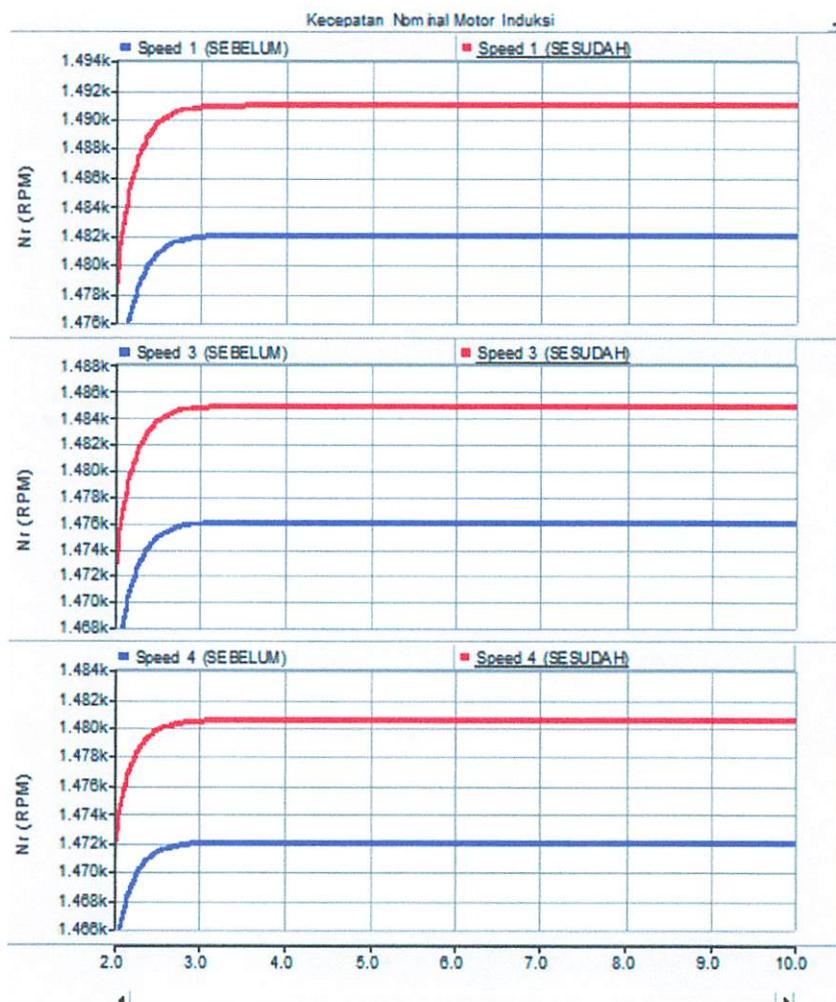


Gambar 4. 2

Grafik Kecepatan Nominal Motor Induksi 1, 3, dan 4 Kondisi *Base Case* di PDAM Wendit Kota Malang

Gambar 4.2 menerangkan tentang kondisi kecepatan nominal motor induksi 1, 3, dan 4 pada saat menggerakkan pompa PDAM Wendit Kota Malang. Terlihat pada gambar tersebut kecepatan nominal motor induksi menunjukkan motor 1 sebesar 1482 RPM, motor 3 sebesar 1476 RPM, dan motor 4 sebesar 1472 RPM. Dari total kecepatan nominal seluruh motor induksi tersebut memberikan kinerja pompa untuk mensuplai air dengan kapasitas 362 lt/dtk atau 31276800 lt/24 jam, sedangkan PDAM Wendit memiliki sasaran 450 lt/dtk. Sehingga diharapkan salah satunya untuk meningkatkan kecepatan nominal setiap motor induksi tersebut agar kapasitas debit air lebih mendekati atau sama dengan kapasitas yang disarankan (450 lt/dtk).

### 4.3 Hasil Simulasi Sebelum dan Setelah Pemasangan DSTATCOM



Gambar 4. 3

Grafik Kecepatan Nominal Motor Induksi 1, 3, dan 4 Sebelum dan Setelah Pemasangan DSTATCOM di PDAM Wendit Kota Malang

Gambar 4.3 menerangkan tentang kondisi kecepatan nominal motor induksi 1, 3, dan 4 pada saat menggerakkan pompa PDAM Wendit Kota Malang. Terlihat pada gambar tersebut kecepatan nominal motor induksi meningkat dari kondisi *base case* (grafik warna biru) setelah pemasangan DSTATCOM (grafik warna merah), yaitu motor 1 meningkat menjadi 1491 RPM, motor 3 menjadi 1484 RPM, dan motor 4 menjadi 1480 RPM. Sehingga dari total kecepatan nominal seluruh motor induksi tersebut akan meningkatkan kinerja pompa untuk mensuplai air menjadi 364 lt/dtk atau 31449600 lt/24 jam. Hal ini menjadi salah satu harapan utama PDAM Wendit, yaitu meningkatkan hasil produksinya berupa air bersih melalui peningkatan kecepatan nominal motor induksi tersebut.

#### 4.4 Analisa Hasil Simulasi

Sesuai kondisi *base case*, kecepatan nominal motor induksi sebagai penggerak pompa di PDAM Wendit Kota Malang memiliki performa yang berbeda untuk setiap motornya pada saat menggerakkan pompa. Motor 1 memiliki nilai kecepatan paling tinggi diantara motor yang lainnya, yaitu 1482 RPM, motor 3 sebesar 1476 RPM, sedangkan motor 4 memiliki kecepatan paling rendah diantara motor yang lainnya, yaitu 1472 RPM. Dari kecepatan yang dihasilkan oleh motor induksi tersebut secara keseluruhan memberikan kinerja pompa untuk mensuplai air ke pelanggan dengan kapasitas 362 lt/dtk selama 24 jam, sedangkan pihak PDAM Wendit memiliki sasaran 450 lt/dtk selama 24 jam. Kondisi yang seperti ini menunjukkan bahwa, PDAM Wendit masih jauh dari sasarnya untuk dapat menghasilkan kapasitas suplai debit air 450 lt/dtk selama 24 jam.

Berdasarkan hasil *survey*, pada intinya permasalahan yang diangkat pada skripsi ini adalah meningkatkan kecepatan nominal motor induksi dalam keadaan menggerakkan pompa. Permasalahan tersebut adalah sesuai dengan permasalahan yang ada pada PDAM Wendit Kota Malang, yaitu seperti yang sudah dijelaskan dari hasil simulasi pada sub pokok pembahasan sebelumnya, baik sebelum maupun sesudah pemasangan DSTATCOM, dan untuk lebih jelasnya dari hasil simulasi tersebut dilakukan analisa hasil simulasi yang dipaparkan pada tabel 4.1.

Teabel 4. 1  
Performa Sistem Kondisi Sebelum dan Sesudah Pemasangan DSTATCOM

Kondisi	V (pu)	I (Amp)	Cos phi	Motor	RPM	Flow (lt/sec)	Flow (lt/24 jam)
<b>Sebelum DSTATCOM</b>	1.003	1009	0.845	Mtr 1	1482	362	<b>31276800</b>
				Mtr 2			
				Mtr 3	1476		
				Mtr 4	1472		
<b>Sesudah DSTATCOM</b>	1.005	1008	0.848	Mtr 1	1491	364	<b>31449600</b>
				Mtr 2			
				Mtr 3	1484		
				Mtr 4	1480		

Tabel 4.1 menjelaskan tentang analisa hasil simulasi performa sistem dalam kondisi *base case* atau sebelum pemasangan DSTATCOM dan sesudah pemasangan DSTATCOM. Khususnya pada performa kecepatan nominal motor induksi sebelum pemasangan DSTATCOM terlihat bahwa, motor 1 memiliki kecepatan sebesar 1482 RPM, motor 3 sebesar 1476, dan motor 4 sebesar 1472 RPM, sehingga memberikan kinerja pompa untuk mensuplai air dengan kapasitas debit air 362 lt/dtk atau 31276800 lt/24 jam. Akan tetapi sesudah pemasangan DSTATCOM khususnya pada performa kecepatan nominal motor induksi meningkat, yaitu motor 1 sebesar 1491 RPM, motor 3 sebesar 1484 RPM, dan motor 4 sebesar 1480 RPM. Sehingga memberikan peningkatan terhadap kinerja pompa dan mampu menghasilkan suplai kapasitas debit air menjadi 364 lt/dtk atau 31449600 lt/24 jam.

Peningkatan suplai air tersebut dari 362 lt/dtk atau 31276800 lt/24 jam menjadi 364 lt/dtk atau 31449600 lt/24 jam memberikan optimasi yang cukup signifikan selama 24 jam, yaitu sebesar 172800 lt/24 jam. Adapun optimasi yang diberikan dari peningkatan tersebut dapat direpresentasikan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Optimasi}_{\text{liter}/24\text{jam}} &= \text{WITH}_{\text{DSTATCOM}} - \text{WITHOUT}_{\text{DSTATCOM}} \dots\dots\dots (4.1) \\
 &= 31449600 - 31276800 \\
 &= 172800 \text{ } \frac{1}{24\text{jam}}
 \end{aligned}$$

Oleh karena itu, DSTATCOM sangat efektif dan optimal untuk meningkatkan stabilitas kecepatan nominal motor induksi yang mengarah pada

peningkatan kapasitas suplai debit air dari pompa. Sedangkan prosentase optimasinya secara keseluruhan dapat direpresentasikan sebagai berikut

$$Optimasi_{system} = \left| \frac{WITH_{DSTATCOM} - WITHOUT_{DSTATCOM}}{WITH_{DSTATCOM}} \right| \times 100\% \dots\dots\dots (4.2)$$

Sehingga dari persamaan tersebut didapatkan optimasi stabilitas sistem secara keseluruhan khususnya satabilitas kecepatan nominal motor induksi setelah pemasangan DSTATCOM yang mengarah pada optimasi kapasitas debit air. Berikut ini adalah tabel optimasi secara keseluruhan.

Teabel 4. 2  
Optimasi Peningkatan Stabilitas Sistem

<b>V (%)</b>	<b>I (%)</b>	<b>Cos phi (%)</b>	<b>Motor</b>	<b>RPM (%)</b>	<b>Flow (%)</b>	<b>Flow lt/24 jam</b>
0.2	0.01	0.35	Mtr 1	0.6	0.6	0.55 %
			Mtr 2			
			Mtr 3	0.5		
			Mtr 4	0.5		

Terlihat bahwa pada tabel 4.2 DSTATCOM secara keseluruhan memberikan optimasi peningkatan stabilitas sistem khususnya penigkatan stabilitas kecepatan nominal motor induksi yang mengarah pada peningkatan kapasitas debit air. Dengan memasang DSTATCOM merupakan salah satu alternatif yang lebih fleksible untuk meningkatkan hasil produksi di PDAM Wendit Kota Malang sebagai penyedia air bersih kepada pelanggannya, dimana hal tersebut merupakan salah satu harapannya untuk diwujudkan.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Pengaruh pemasangan *Distribution Static Compensator* pada sistem kelistrikan PDAM Wendit Kota Malang, untuk meningkatkan stabilitas kecepatan nominal motor induksi dengan menggunakan bantuan *software PSCAD /EMTDC V4.2 Power System Simulation*, maka dapat diambil kesimpulan :

1. DSTATCOM (*Distribution Static Compensator*) dapat meningkatkan stabilitas kecepatan nominal motor induksi.
2. Kecepatan nominal setiap motor induksi meningkat setelah pemasangan DSTATCOM, dimana motor 1 meningkat dari 1482 RPM menjadi 1491 RPM, motor 3 meningkat dari 1476 RPM menjadi 1484 RPM, dan motor 4 meningkat dari 1472 RPM menjadi 1480 RPM.
3. Total dari peningkatan kecepatan nominal seluruh motor induksi yang dihasilkan memberikan peningkatan kinerja pompa, sehingga kapasitas suplai debit air meningkat dari 362 lt/dtk atau 31276800 lt/24 jam menjadi 364 lt/dtk atau 31449600 lt/24 jam dan memberikan optimasi sebesar 172800 lt/24jam.
4. Pemasangan DSTATCOM pada sistem selain dapat meningkatkan kecepatan nominal motor induksi juga dapat meningkatkan faktor daya ( $\cos \phi$ ).
5. DSTATCOM secara umum ideal diimplementasikan pada sistem kelistrikan PDAM Wendit Kota Malang untuk meningkatkan stabilitas sistem khususnya kecepatan nominal motor induksi.

## 5.2 Saran

Perlu diketahui bahwa sistem tenaga listrik di Indonesia khususnya pada PDAM Wendit Kota Malang, masih sangat perlu untuk meningkatkan stabilitas kecepatan nominal motor induksi seperti yang dijabarkan dalam skripsi ini. Penggunaan DSTATCOM (*Distribution Static Compensator*) untuk meningkatkan stabilitas sistem tenaga listrik khususnya kecepatan nominal motor induksi sangat diperlukan. Karena ditempat tersebut merupakan salah satu sumber air PDAM Kota Malang, dimana kondisi kestabilan kecepatan nominal motor induksi sangat dibutuhkan untuk menjaga kualitas suplai air ke para pelanggannya secara stabil dan kontinuitas selama 24 jam.

Selain dari pada itu DSTATCOM sangat disarankan untuk meningkatkan stabilitas sistem yang lainnya dan optimasi pemasangannya pada sistem, agar kinerja dari DSTATCOM mampu memberikan kontribusi yang lebih baik dalam meningkatkan stabilitas sistem secara keseluruhan, sehingga sistem tersebut akan memiliki kualitas daya yang baik dan handal.

## DAFTAR PUSTAKA

- Javanbakht, Pirooz. And A.Mehrdad.2008. *The Enhancement of Dynamic Performance of Cascade Induction Motors Using SVC and DSTATCOM*. Amirkabir University of Technology, 10: 415-424-08
- Sarka, A. K. and G. J. Berg, 1970. *Digital Simulation 3 Phase Induction Motor*. IEEE Trans. Power Applied Sys, 89:1031:1037
- Smith, I. R. and S.Sriharam, 1967, *Induction Motor Reswitching Transients*, Proc. Inst. Electr. Eng.,114:503-509
- Khorrarni, Navid. 2012. *Simulation and Modeling of 24-Pulse D-STATCOM in EMTDC/PSCAD Program in Order to Regulate Voltage and Dynamic Stability Improvement*. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 4(3): 152-158, 2012 ISSN: 2040-7467. Landfish Today. 10: 06 -12.
- Mohammadi, Saeed. 2012. *Impacts of D-STATCOM on voltage stability*. Indian J. Edu. Inf. Manage., Vol. 1, No. 6 (Sep 2012): ISSN 2277 – 5374. Landfish Today. 23: 10-12.
- M. Malaiappan, R.Alrumugam, S.Baramurugan, S.Paramasivam. *Transient Analysis of Induction Motor Using Finite Element Analysis*. Department of Electrical Engineering Anna University, Chennai, India, 2004.
- M. SajediHir, Y, and Hoseinpoor, P, and MosadeghArdabili, T, and Pirzadeh. 2011. *Analysis and Simulation of a D-STATCOM for Voltage Quality Improvement*. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5(10): 864-870. ISSN 1991-8178. Landfish Today. 23: 10-12
- Nakhoda, Ismail, Y dan Hasan, Rahayu, S. 2008. Perbaikan kualitas tegangan menggunakan kompensasi *Dynamic Voltage restore (DVR)* dan *Distribution Static Compensator (D-STATCOM)* dengan *software PSCAD/EMTDC Power Simulation*. Landfish Today. 22: 10-12.
- T. Yusak. and P. Felix. 2011 *Transformasi Tegangan Tiga Fasa Asimetris Untuk DC - Link Voltage Control Mungganakan Kompensator LPF dan Perbandingan Unjuk Kerjanya dengan Kompensator PID*. Kristen Petra of University. Surabaya. Power Applied Sys, 13:1031:1037 .
- S.R Budi. And Manafarali. G. 2012. *DSTATCOM for Power Quality Improvement of Induction Motor Drive and Non Linier Load*. IJESR, 89: 07-13
- K.R. Padiyar, 2007. *FACTS Controllers in Power Transmission and Distribution*. India : New Age International Publisher.



**LAMPIRAN**



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

PT. BNI (PERSERO) MALANG  
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

1. Nama : MUHAMMAD ARDIANSAH
2. NIM : 09.12.024
3. Program Studi : TEKNIK ELEKTRO S-1
4. Konsentrasi : TEKNIK ENERGI LISTRIK
5. Judul Skripsi : **IMPLEMENTASI *DISTRIBUTION STATIC COMPENSATOR (DSTATCOM)* UNTUK MENINGKATKAN STABILITAS KECEPATAN NOMINAL MOTOR INDUKSI SEBAGAI PENGGERAK POMPA DI PDAM WENDIT**

Dipertahankan di hadapan Majelis Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1) pada :

Hari : Selasa  
Tanggal : 19 Februari 2013  
Dengan Nilai : 81.25 (A) *✓*

**Panitia Ujian Skripsi**

Ketua

( M. Ibrahim Ashari, ST. MT )  
NIP. Y. 1030100358

Sekretaris

( Dr. Eng. Aryuanto Soetedjo, ST. MT )  
NIP. Y. 1030800417

**Anggota Penguji**

Penguji I

( Ir. Teguh Herbasuki, MT )  
NIP. Y. 1038900209

Penguji II

( Lauhil Mahfudz Hayusman, ST. MT )  
1144



## PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

Dari hasil ujian skripsi Program Studi Teknik Elektro jenjang strata satu (S-1) yang diselenggarakan pada :

Hari : Selasa  
Tanggal : 19 Februari 2013

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

1. Nama : Muhammad Ardiansah
2. NIM : 09.12.024
3. Program Studi : Teknik Elektro S-1
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi : **IMPLEMENTASI *DISTRIBUTION* *STATIC*  
*COMPENSATOR* (*DSTATCOM*) UNTUK  
MENINGKATKAN STABILITAS KECEPATAN  
NOMINAL MOTOR INDUKSI SEBAGAI PENGGERAK  
POMPA DI PDAM WENDIT**

No	Materi Perbaikan	Ket
1	Kserasian judul skripsi dengan isi skripsi yang dibahas	M.
2	Perbaikan tujuan skripsi yang ke-2	

Dosen Penguji I

Ir. Teguh Herbasuki, MT  
NIP. Y. 1038900209

Dosen Penguji II

Lauhil Mahfudz Hayusman, ST. MT  
1144

Dosen Pembimbing I

Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE  
NIP. Y. 1018500108

Dosen Pembimbing II

Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT  
NIP. Y. 1018800189



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

### Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

Dalam pelaksanaan Ujian Skripsi Janjang Strata 1 Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi T. Energi Listrik / T. Elektronika / T. Infokom, maka perlu adanya perbaikan skripsi untuk mahasiswa :

NAMA : Muh. Ardiansah  
NIM : 0912024  
Perbaikan meliputi :

1. Mohon dicek kembali judulnya, dan dicocokkan dg. isinya //
2. Tujuan no 2 harus dicek kembali ?

Malang,

(  )



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

### Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

Dalam pelaksanaan Ujian Skripsi Janjang Strata 1 Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi T. Energi Listrik / T. Elektronika / T. Infokom, maka perlu adanya perbaikan skripsi untuk mahasiswa :

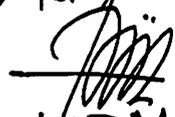
NAMA : M. Ardiansah  
NIM : 09.12.024.  
Perbaikan meliputi :

(1) Kejelasan yang dibahas.

" Keseluruhan Sistim "

Sistim sudah baik dgn tegangan yang masih dalam batas toleransi

Malang, 19 Februari 2013

  
(Lauhil M.H.Y.)



### FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : MUHAMMAD ARDIANSAH  
Nim : 09.12.024  
Masa Bimbingan : 01 November 2012 s/d 18 Februari 2013  
Judul Skripsi : **IMPLEMENTASI *DISTRIBUTION STATIC COMPENSATOR (DSTATCOM)* UNTUK MENINGKATKAN STABILITAS KECEPATAN NOMINAL MOTOR INDUKSI SEBAGAI PENGGERAK POMPA DI PDAM WENDIT**

No.	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	21-11-2012	Konsultasi pemodelan parameter frekuensi sistem dalam <i>software</i> PSCAD	
2.	07-01-2013	Menyamakan konsep skripsi dengan judul	
3.	14-01-2013	Perubahan konsep stabilitas tegangan dan kecepatan nominal motor induksi	
4.	16-01-2013	Perubahan konsep stabilitas tegangan dan kecepatan nominal motor induksi akibat fluktuasi torsi beban	
5.	21-01-2013	Bimbingan laporan skripsi BAB I, dan II	
6.	25-01-2013	Bimbingan laporan skripsi BAB III, dan IV	
7.	26-01-2013	Presentasi pra-seminar hasil di Laboratorium Simulasi Sistem Tenaga Elektrik	
8.	04-02-2013	Menyerahkan data record dan memutuskan permasalahan dalam studi kasus (PDAM Wendit)	
9.	06-02-2013	Bimbingan dan revisi makalah seminar hasil	
10.	13-02-2013	Menyetujui makalah seminar hasil	

Malang, 13 Maret 2013  
Dosen Pembimbing,

**Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE**  
NIP.Y.1018500108



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

## FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : MUHAMMAD ARDIANSAH  
Nim : 09.12.024  
Masa Bimbingan : 01 November 2012 s/d 18 Februari 2013  
Judul Skripsi : **IMPLEMENTASI *DISTRIBUTION STATIC COMPENSATOR (DSTATCOM)* UNTUK MENINGKATKAN STABILITAS KECEPATAN NOMINAL MOTOR INDUKSI SEBAGAI PENGGERAK POMPA DI PDAM WENDIT**

No.	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	09-01-2013	Konsultasi pemodelan pengasutan motor kondisi <i>base case</i> dengan <i>software</i> PSCAD	
2.	21-01-2013	Bimbingan laporan skripsi BAB I, dan II	
3.	26-01-2013	Bimbingan Laporan Skripsi BAB III, IV	
4.	11-02-2013	Bimbingan konsep skripsi dan revisi makalah seminar hasil	
5.	12-02-2013	Bimbingan dan revisi makalah seminar hasil	
6.	13-02-2013	Menyetujui makalah seminar hasil	
7.			
8.			
9.			
10.			

Malang, 13 Maret 2013  
Dosen Pembimbing,

**Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT**  
NIP. Y. 1018800189

Form.S-4b



## PERMOHONAN PERSETUJUAN SKRIPSI

Yang Bertanda Tangan Dibawah Ini:

Nama : MUHAMMAD ARDIANSAH  
 N I M : 09.12.024  
 Semester : VII (TUJUH)  
 Fakultas : Teknologi Industri  
 Jurusan : Teknik Elektro S-I  
 Konsentrasi : ~~TEKNIK ENERGI LISTRIK~~  
                   ~~TEKNIK ELEKTRONIKA~~  
                   ~~TEKNIK KOMPUTER DAN INFORMATIKA~~  
                   ~~TEKNIK KOMPUTER~~  
                   ~~TEKNIK TELEKOMUNIKASI~~  
 Alamat : Jl. Kenanga Indah no. 6A : Jatimulyo : Malang

Dengan ini kami mengajukan permohonan untuk mendapatkan persetujuan untuk membuat SKRIPSI Tingkat Sarjana. Untuk melengkapi permohonan tersenut, bersama ini kami lampirkan persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi.

Adapun persyaratan- persyaratan pengambilan SKRIPSI adalah sebagai berikut:

- |  |         |
|--|---------|
| 1. Telah melaksanakan semua praktikum sesuai dengan konsentrasinya             | (.....) |
| 2. Telah lulus dan menyerahkan laporan Praktek Kerja                           | (.....) |
| 3. Telah lulus seluruh mata kuliah keahlian (MKB)sesuai konsentrasinya         | (.....) |
| 4. Telah menempuh matakuliah > 134 sks dengan IPK > 2 dan tidak ada nilai E    | (.....) |
| 5. Telah mengikuti secara aktif kegiatan seminar Skripsi yang diadakan Jurusan | (.....) |
| 6. Memenuhi persyaratan administrasi   | (.....) |

Demikian permohonan ini untuk mendapatkan penyelesaian lebih lanjut dan atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Telah diteliti kebenarannya data tersebut diatas  
 Recording Teknik Elektro S-I

*(Handwritten signature)*  
 (.....)

Malang,.....201

Pemohon

*(Handwritten signature)*  
 (Muh. Ardiansah)

Disetujui  
 Ketua Jurusan Teknik Elektro S-I

Mengetahui  
 Dosen Wali

*(Handwritten signature)*  
 Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT  
 NIP. Y. 1018800189

*(Handwritten signature)*  
 (.....)

**Catatan:**

Bagi mahasiswa yang telah memenuhi persyaratan mengambil SKRIPSI agar membuat proposal dan mendapat persetujuan dari Jurusan T. elektro S-I

1. IP 443.5 / 126 = 3.52
2. ....
3. MK Terlampir



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo Km. 2 Telp. (0341) 417636 Malang

## **PERNYATAAN KESEDIAAN DALAM PEMBIMBINGAN SKRIPSI**

Sesuai permohonan dari mahasiswa/i :

Nama : **MUHAMMAD ARDIANSAH**  
Nim : **0912024**  
Semester : **VII (Tujuh)**  
Jurusan : **Teknik Elektro S-1**  
Konsentrasi : **Teknik Energi Listrik**

Dengan ini menyatakan bersedia/tidak bersedia\*) Membimbing skripsi dari mahasiswa tersebut, dengan judul :

**" IMPLEMENTASI DSTATCOM ( DISTRIBUTION STATIC COMPENSATOR) UNTUK MENINGKATKAN STABILITAS SISTEM AKIBAT PENGOPERASIAN MOTOR INDUKSI PADA PDAM WENDIT"**

Demikian surat pernyataan ini kami buat agar dapat dipergunakan seperlunya.

Hormat Kami

**Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE**

**NII Y. 1018500108**

\*) Coret yang tidak perlu



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**  
Kampus II - Jl. Raya Karanglo Km. 2 Telp. (0341) 4176.6 Malang

## **PERNYATAAN KESEDIAAN DALAM PEMBIMBINGAN SKRIPSI**

Sesuai permohonan da. . mahasiswa/i:

Nama : **MUHAMMAD ARDIANSAH**  
Nim : **0912074**  
Semester : **VII (Tujuh)**  
Jurusan : **Teknik Elektro S-1**  
Konsentrasi : **Teknik Energi Listrik**

Dengan ini menyatakan bersedia/tidak bersedia\*) Membimbing skripsi dari mahasiswa tersebut, dengan judul :

**" IMPLEMENTASI DSTATCOM ( DISTRIBUTION STATIC COMPENSATOR) UNTUK MENINGKATKAN STABILITAS SISTEM AKIBAT PENGOPERASIAN MOTOR INDUKSI PADA PDAM WENDIT"**

Demikian surat pernyataan ini kami buat agar dapat dipergunakan seperlunya.

Demikian Kami



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo Km. 2 Telp. (0341) 417636 Malang

Lampiran : 1 (satu) berkas  
**Pembimbing Skripsi**

Kepada : Yth. Bapak/Ibu Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham L.ani, MSEE  
Dosen Teknik Elektro S-1  
ITN Malang

Yang bertanda tangan dibawah

Nama : **MUHAMMAD ARDIANSAH**  
Nim : **0912024**  
Jurusan : **Teknik Elektro S-1**  
Konsentrasi : **Teknik Ene.rgi Listrik**

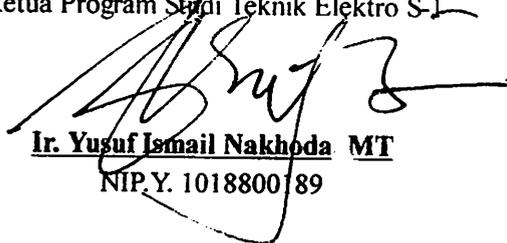
Dengan ini mengajukan permohonan, kiranya Bapak/Ibu bersedia menjadi Dosen Pembimbing untuk penyusunan Skripsi dengan judul :

**"IMPLEMENTASI DSTATCOM ( DISTRIBUTION STATIC COMPENSATOR)  
UNTUK MENINGKATKAN STABILITAS SISTEM AKIBAT PENGOPERASIAN  
MOTOR INDUKSI PADA PDAM WENDIT"**

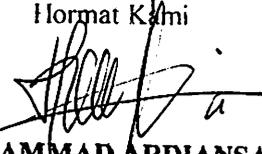
Demikian permohonan kami buat dan atas kesediaan Bapak kami ucapkan terima kasih.

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1

  
**Ir. Yusuf Ismail Nakhoda MT**  
NIP.Y. 1018800189

Hormat Kami

  
**MUHAMMAD ARDIANSAH**  
NIM. 0912024



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo Km. 2 Telp. (0341) 417636 Malang

Lampiran : 1 (satu) berkas  
Pembimbing Skripsi

Kepada : Yth. Bapak/Ibu Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT  
Dosen Teknik Elektro S-1  
ITN Malang

Yang bertanda tangan dibawah

Nama : **MUHAMMAD ARDIANSAH**  
Nim : **0912024**  
Jurusan : **Teknik Elektro S-1**  
Konsentrasi : **Teknik Energi Listrik**

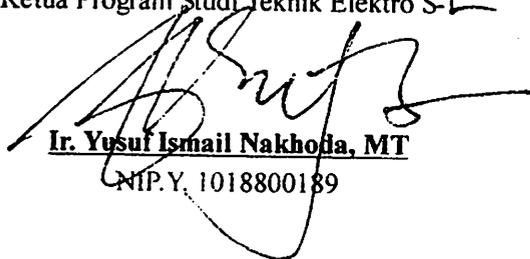
Dengan ini mengajukan permohonan, kiranya Bapak/Ibu bersedia menjadi Dosen Pembimbing untuk penyusunan Skripsi dengan judul :

**"IMPLEMENTASI DSTATCOM ( DISTRIBUTION STATIC COMPENSATOR)  
UNTUK MENINGKATKAN STABILITAS SISTEM AKIBAT PENGOPERASIAN  
MOTOR INDUKSI PADA PDAM WENDIT"**

Demikian permohonan kami buat dan atas kesediaan Bapak kami ucapkan terima kasih.

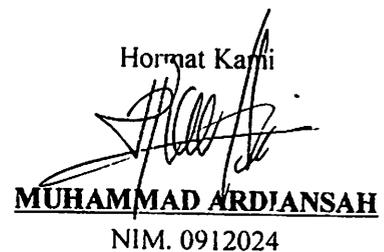
Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1



**Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT**  
NIP.Y. 1018800189

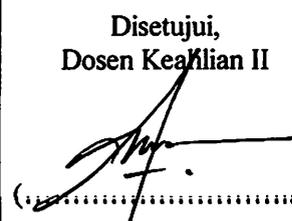
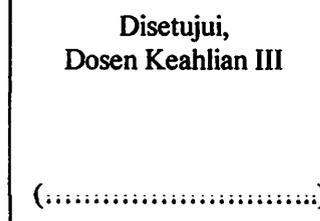
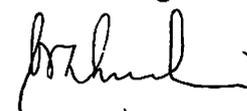
Hormat Kami



**MUHAMMAD ARDIANSAH**  
NIM. 0912024



**BERITA ACARA SEMINAR PROPOSAL SKRIPSI**  
**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1**  
**Konsentrasi : Teknik Energi Listrik**

1.	Nim	: 0912024		
2.	Nama	: MUHAMMAD ARDIANSAH		
3.	Konsentrasi Jurusan	: Teknik Energi Listrik		
4.	Jadwal Pelaksanaan:	Waktu	Tempat	
	12 Nopember 2012	09:00	III.1.1	
5.	Judul proposal yang diseminarkan Mahasiswa	IMPLEMENTASI DSTATCOM ( DISTRIBUTION STATIC COMPENSATOR) UNTUK MENINGKATKAN STABILITAS SISTEM AKIBAT PENGOPERASIAN MOTOR INDUKSI PADA PDAM WENDIT		
6.	Perubahan judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian			
7.	Catatan :			
8.	Catatan :			
	Persetujuan judul Skripsi			
	Disetujui, Dosen Keahlian I	Disetujui, Dosen Keahlian II	Disetujui, Dosen Keahlian III	
	 (.....)	 (.....)	 (.....)	
Mengetahui, Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1	Disetujui, Calon Dosen Pembimbing ybs			
 <b>Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT</b> NIP. Y. 1018800189	Pembimbing I	Pembimbing II		
	 (.....)	 (.....)		



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

PT. BNI (PERSERO) MALANG  
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Maiang

Nomor Surat : ITN-337/EL-FTI/2012  
Lampiran : -  
Perihal : BIMBINGAN SKRIPSI

Kepada : Yth. Bapak/Ibu **Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE**  
Desen Teknik Elektro S-1  
ITN MALANG

Dengan Hormat

Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam Proposal Skripsi untuk mahasiswa :

Nama : **MUHAMMAD ARDIANSAH**  
Nim : **0912024**  
Fakultas : **Teknologi Industri**  
Program Studi : **Teknik Elektro S-1**  
Konsentrasi : **Teknik Energi Listrik**

Maka dengan ini pembimbingan tersebut kami serahkan sepenuhnya kepada Saudara/i selama masa waktu :

" Semester Ganjil Tahun Akademik 2012 - 2013 "

Demikian agar maklum dan atas perhatian serta bantuannya kami sampaikan terima kasih.



Mengetahui

Dekan Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1

**Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT**

NIP. Y. 1018800189



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

PT. BNI (PERSERO) MALANG  
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

Nomor : ITN- 201 /III.FTI/2/12  
Lampiran : -  
Perihal : **Survey**

Malang, 20 Nopember 2012

Kepada : **Yth. Pimpinan**  
Bakesbang Pol dan Linmas Kota Malang  
Jl. A Yani No. 98  
Di – *Malang*

Bersama ini dengan hormat kami mohon kebijaksanaan Bapak/Ibu agar Mahasiswa kami dari **Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Elektro S-1 Konsentrasi Teknik Energi Listrik** dapat diijinkan untuk melaksanakan survey pada Bakesbang Pol dan Linmas Kota Malang yang Bapak/Ibu pimpin untuk mendapatkan data – data guna penyusunan Skripsi.

Mahasiswa tersebut Adalah :

Muhammad Ardiansah Nim. 09.12.024

Adapun lamanya Survey adalah : 7 Hari

Demikian agar maklum dan atas perhatian serta bantuannya kami ucapkan terima kasih.



DEKAN

Fakultas Teknologi Industri

**Ir. H. Sidik Noertjahjono, MT.**

Nip. Y.1028700163



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

PT. BNI (PERSERO) MALANG  
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo. Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

Nomor : ITN- 193 /III.FTI/2/12  
Lampiran : -  
Perihal : **Survey**

Malang, 14 Nopember 2012

Kepada : **Yth. Pimpinan**  
Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM)  
Jl. Terusan Danau Sentani No. 100  
Di – *Malang*

Bersama ini dengan hormat kami mohon kebijaksanaan Bapak/Ibu agar Mahasiswa kami dari **Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Elektro S-1 Konsentrasi Teknik Energi Listrik** dapat diijinkan untuk melaksanakan survey pada Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) yang Bapak/Ibu pimpin untuk mendapatkan data – data guna penyusunan Skripsi.

Mahasiswa tersebut Adalah :

Muhammad Ardiansah Nim. 09.12.024

Adapun lamanya Survey adalah : 7 Hari

Demikian agar maklum dan atas perhatian serta bantuannya kami ucapkan terima kasih.



DEKAN  
Fakultas Teknologi Industri

**Ir. H. Sidik Noertjahjono, MT.**

Nip. Y.1028700163



**PEMERINTAH KOTA MALANG  
PERUSAHAAN DAERAH AIR MINUM**

JL. TERUSAN DANAU SENTANI NO. 100 MALANG TELP. (0341)-715103 (HUNTING)  
FAX. 0341-715107 PO BOX. 132 MALANG 65138  
website : www.pdamkotamalang.com email : humas@pdamkotamalang.com



sertifikat No. ID 07 / 0991

Malang, 04 DEC 2012

Nomor : 072/0039/35.73.701/2012  
Sifat : Biasa  
Lampiran :  
Perihal : Permohonan Survey

Kepada :  
Yth. Dekan Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Nasional Malang  
Jl.Raya Karanglo Km 2  
Di  
MALANG

Berkenaan dengan surat Saudara Nomor : ITN-193/III.FTI/2/2012 tanggal 14 Nopember 2012 perihal dimaksud pada pokok surat, bersama ini kami beritahukan bahwa pada prinsipnya kami menyetujui menerima Mahasiswa saudara, atas nama sebagai berikut :

No	Nama	NIM
1	Muhammad Ardiansah	0912024

Adapun ketentuan lain untuk Pengambilan Data di Perusahaan Daerah Air Minum Kota Malang adalah sebagai berikut :

1. Penempatan diatur oleh pihak PDAM Kota Malang
2. Tidak mengganggu aktivitas kerja
3. Memenuhi peraturan/persyaratan yang ada di PDAM Kota Malang

Demikian untuk menjadikan periksa.

AN.DIREKTUR UTAMA  
PERUSAHAAN DAERAH AIR MINUM  
KOTA MALANG  
DIREKTUR ADM & KEUANGAN  
MANAJER SUMBER DAYA MANUSIA



**HERIANTO,SH**  
NPP. 10910211

## **KOMPONEN LISTRIK DAN PERALATAN PDAM WENDIT**

### ➤ **Komponen Listrik :**

1. Papan Kerja
2. Overload Relay  
Tombol – tombol :  
Stop / Start
3. Panel induk ACB tegangan rendah NS 2000 A
4. Terminal strip atau viking terminal, lengkap dengan rel
5. Motor Induksi rotor sangkar
6. Voltmeter
7. Frekuensi meter
8. Flow meter
9. Panel star/delta NFB 630
  - Ampermeter
  - Kontraktor Magnet
  - Kabel–kabel penghubung
  - Time delay

10. Sistem monitoring online
11. Genset
12. WCL
13. Intake pump control unit
14. Booster pump control unit
15. Pump status dan alarm

### ➤ **Alat – Alat :**

1. Obeng datar, 4 mm
2. Obeng datar, 6 mm
3. Obeng kembang, ukuran sedang
4. Tang potong
5. Tang pengupas kabel
6. Avometer

Mengetahui,  
Manajer Produksi  
PDAM Wendit Kota Malang

Ir. Kamaruz Zaman

# W E N D I T

**POMPA No. 1**



P O M P A		ELECTRO MOTOR	
Turbine Pump	: DENGYOSHA Machine Work	Merk	: TOYO DENKI SEIZO. KK
No. Seri	: 1101601-3	No. Serie	: M 923111
Type	: VMT – R2	Type	: US 5611/ VM-BA
Bore	: 300 mm	Out Put	: 200 kW
Head	: 79 m	Volt	: 380 V
Power	: 200 kW	Current	: 352 A
Volt	: 380 / 660	Frequency	: 50 Hz
R p m	: 1476	Speed	: 1476
Capacity	: 170 lt/dtk	Rating	: Cont
Bearing	: 7324 – BCBM (2bh)	Bearing	: NU 319 dan 6319
	SKF	Pole	: 4
Date	: 1978	Enclosure Sys	: JP 225
		Colling System	: JC . 0
		Class of Ins	: B
		Collant Temp	: 40 <sup>0</sup> C
		Standart	: JEC – 37
		Built	: 1992
		Gulungan motor	: Januari 2004 ( SG )

# W E N D I T

**POMPA No. 2**



P O M P A	E L E C T R O M O T O R
Turbine Pump : DENGYOSHA Machine Work	Merk : TOYO DENKI SEIZO. KK
No. Seri : 1106020	No. Serie : M 913099
Type : VMT – R2	Type : US-5611/VM-BA
Bore : 300 mm	Out Put : 200 kW
Head : 79 m	Volt : 380 V
Power : 200 kW	Current : 352 A
Volt : 380 / 660	Frequency : 50 Hz
R p m : 1476	Speed : 1476 rpm
Capacity : 170 lt/dtk	Rating : Cont
Bearing : 7324 – BCBM (2bh)	Bearing : NU 319 & 6319
Hydro test pres : 16.5 kg/cm <sup>2</sup>	Pole : 4
No. off stage : 2	Enclosure Sys : JP 225
Spesifi Gravity : 1.0	Colling System : JC . 0
Date : 1991	Class of Ins : B
	Collant Temp : 40 <sup>0</sup> C
	Weight : 1270 kg
	Built : 1991
	Gulungan Motor : Sugeng April 2010

# W E N D I T

## POMPA No. 3



P O M P A		E L E C T R O M O T O R	
Turbine Pump	: DENGYOSHA Machine Work	Merk	: TOYO DENKI SEIZO. KK
No. Seri	: 1101601-1	No. Serie	: M 533003
Type	: VMT – R2	Type	: US 5611/VM-BA
Bore	: 300 mm	Out Put	: 200 kW
Head	: 79 m	Volt	: 380 V
Power	: 200 kW	Current	: 352 A
Volt	: 380 / 660	Frequency	: 50 Hz
R p m	: 1476	Speed	: 1476
Capacity	: 170 lt/dtk	Rating	: Cont
Bearing	: 7324 – BCBM (2bh)	Bearing	: NU 319 & 6319
Date	: 1978	Pole	: 4
		Ins Cllas	: B
		Rating	: Cont
		Weight	: 1280 kg
		Built	: 1978
		Gulungan motor	: Nop 2004 ( SG )

# W E N D I T

## POMPA No. 4



P O M P A		ELECTRO MOTOR	
Turbine Pump	: DENGYOSHA Machine Work	Merk	: TOYO DENKI SEIZO. KK
No. Seri	: 1102910	No. Serie	: M 82166
Type	: VMT - R2	Out Put	: 200 kW
Bore	: 300 mm	Volt	: 380 V
Head	: 79 m	Current	: 352 A
Power	: 200 kW	Frequency	: 50 Hz
Speed	: 1476 rpm	Pole	: 4
Capacity	: 170 lt/dtk	Speed	: 1476 rpm
Bearing	: 7324 - BCBM (2bh)	Rating	: Cont
Date	: 1982	In Class	: B
		Bearing	: NU 319 & 6319
		Weight	: 1280 kg
		Built	: Feb 1982
		Gulungan motor	: Februari 2008 ( SG )

## **LEMBAR PERSEMBAHAN**

Dengan menyebut nama Allah yang maha pengasih lagi maha penyang. Kalimat itulah yang seharusnya senantiasa hamba ucapkan setiap hendak melakukan pekerjaan, namun hamba sebagai manusia biasa yang tak luput dari khilaf maupun dosa sering melupakan kebesaran-Mu. Meskipun demikian Engkau tak ada hentinya melimpah curahkan anugerah-Mu yang begitu besar kepada makhluk-Mu termasuk hamba-Mu yang lemah ini.

Ya Allah tiada Tuhan selain Engkau yang patut disembah. Tidak ada daya dan upaya yang bisa hamba lakukan kecuali atas ridho-Mu ya Allah...

Ya Allah berikanlah terus nikmat-Mu pada hamba dan bimbimbinglah hamba-Mu ini untuk menuju jalan yang lurus yaitu, jalan yang Engkau ridhoi bukan jalan yang sesat dan Engkau benci. Berikanlah berkah atas ilmu yang hamba peroleh selama ini dan di masa depan nanti.

Semua yang hamba miliki adalah semata-mata dari-Mu yang sebagian Engkau lewatkan melalui orang - orang di sekitar hamba, sehingga "Tulisan" ini aku persembahkan kepada Ibu, Ayah, Kakak, dan Adikku yang senantiasa mendo'akan dan memotivasi dalam hidupku... Juga buat para dosen dan teman - temanku yang selama 3.5 tahun ini memberikan dukungan penuh serta yang menemaniku baik suka maupun duka.

**Alhamdulillah & Thanks for you All**

## BIOGRAFI PENULIS



Penulis dilahirkan di Kabupaten Trenggalek pada tanggal 07 Juni 1990 dari ayah Sukamto dan ibu Puspa Istiqomah. Penulis merupakan putra kedua dari dua bersaudara. Penulis memulai pendidikan pada tahun 1997 di SD Negeri 1 Nglebeng kemudian pindah ke MI Jami'atul Ulum Ngetal tahun 2002 dan lulus tahun 2003. Pertengahan tahun 2003 penulis menempuh pendidikan di SMP Negeri 1 Pogalan sampai tahun 2006. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 1 Durenan bidang studi Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) mulai tahun 2006 lulus tahun 2009 dan pada tahun yang sama penulis melanjutkan studi di perguruan tinggi Institut Teknologi Nasional Malang. Penulis memilih Program Studi Teknik Elektro S-1, Konsentrasi Teknik Energi Listrik, Fakultas Teknologi Industri dan diwisuda pada tanggal 23 Maret 2013, dengan judul skripsi “ Implementasi *Distribution Static Compensator (DSTATCOM)* Untuk Meningkatkan Stabilitas Kecepatan Nominal Motor Induksi Sebagai Penggerak Pompa Di PDAM Wendit “. Selama mahasiswa, penulis menjadi asisten laboratorium Simulasi Sistem Tenaga Elektrik pada tahun 2010 sampai 2013. Pada tahun 2011 penulis mengikuti ajang paling bergengsi mahasiswa tingkat nasional yaitu, Pekan Karya Ilmiah Mahasiswa (PKM) dan berhasil lolos ke Pekan Ilmiah Mahasiswa Nasional (PIMNAS) XXV pada tanggal 9 sampai 14 Juli 2012 diselenggarakan oleh Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi Kementrian dan Kebudayaan bekerjasama dengan Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.