

**ANALISIS KEDIP TEGANGAN (VOLTAGE SAG) AKIBAT STARTING
MOTOR INDUKSI DENGAN BERBAGAI METODE PENGASUTAN**

SKRIPSI



Disusun Oleh :

MAHENDRA SUKMA AJI

1212003

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

2017

LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISIS KEDIP TEGANGAN (VOLTAGE SAG) AKIBAT STARTING
MOTOR INDUKSI DENGAN BERBAGAI METODE PENGASUTAN**

SKRIPSI

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

Disusun oleh :

**MAHENDRA SUKMA AJI
NIM. 1212003**

Diperiksa dan Disetujui,

Dosen Pembimbing I



**Dr. Irrine Budi Sulistiawati, MT.
NIP. 197706152005012002**

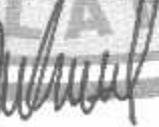
Dosen Pembimbing II



**Ir. M. Abdul Hamid, MT.
NIP. Y. 1018800188**

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1



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

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

2017

ABSTRAK

ANALISIS KEDIP TEGANGAN (VOLTAGE SAG) AKIBAT STARTING MOTOR INDUKSI DENGAN BERBAGAI METODE PENGASUTAN

Mahendra Sukma Aji (1212003)
Jurusan Teknik Elektro S-1, Konsentrasi Teknik Energi Listrik
Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang
Jl. Raya Karanglo Km. 2 Malang
E-mail : mahendra.1212003@itn.ac.id

Abstrak

Suatu sistem tenaga listrik memiliki tingkat keandalan yang tinggi agar sistem tersebut mampu menyediakan pasokan energy listrik yang dibutuhkan secara kontinyu dan dengan kualitas daya yang baik. Salah satu gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik adalah kedip tegangan (voltage sag). voltage sag karena pengasutan menjadi problema dalam sistem kelistrikan karena dalam proses starting diperlukan arus sebesar 5-7 kali dari arus nominalnya. Akibatnya terjadi voltage sag yang tidak diijinkan, sehingga perlu diterapkan metode starting motor untuk mereduksi arus yang besar ini.

Sebuah pabrik kertas yang menggunakan 111 motor dalam proses produksinya. Dari simulasi yang dilakukan kemudian dibandingkan dengan standar yang ada, sehingga diperoleh hasil bahwa pengasutan auto-trafo memberikan hasil terbaik dan mampu mereduksi kedip tegangan voltage sag yang terjadi pada setiap busbar.

Kata Kunci : Pengasutan Motor, Autotrafo, Star-Delta, Resistor, Reactor, Voltage sag

BAB III PEMODELAN SIMULASI	22
3.1. Analisa <i>Starting</i> Motor	22
3.2. Analisa Menggunakan Pengasutan Motor.....	23
3.3. Pengasutan Motor.....	24
3.3.1. Starting Tanpa (<i>Direct On Line</i>)	24
3.3.2. Pengasutan <i>Autotransformer</i>	25
3.3.3. Pengasutan <i>Star-Delta</i>	27
3.3.4. Pengasutan <i>Resistor</i>	29
3.3.5. Pengasutan <i>Reactor</i>	30
3.4. <i>Software ETAP Power Station</i>	30
3.5. Analisa Aliran Daya (Load Flow)	32
3.6. <i>Algoritma</i> Program	34
3.6.1. <i>Algoritma</i> Pemecahan Masalah.....	34
3.6.2. <i>Flowchart</i> Pemecahan Masalah	35
BAB IV SIMULASI DAN ANALISIS HASIL	36
4.1. Pemodelan <i>Single Line</i> Diagram PT. Mount Dreams Indonesia Menggunakan <i>Software ETAP Powerstation</i>	36
4.2. Data Motor Induksi Pada PT. Mount Dreams Indonesia	37
4.3. Analisa dan Hasil Simulasi	39
4.3.1. Analisa Perhitungan <i>Starting</i> Motor	39
4.3.2. Tampilan Hasil Simulasi <i>Starting</i> Motor	39
4.4. Analisa dan Hasil Simulasi Pengasutan Motor	40
4.4.1. Simulasi <i>starting</i> motor <i>Hydro Pulper</i>	40
4.5. Hasil komputasi peralatan <i>starting</i> motor menggunakan <i>software</i> <i>ETAP Powerstation</i>	44
4.6. Analisa perhitungan hasil metode pengasutan motor Untuk mengetahui penurunan tegangan (<i>voltage sag</i>)	46
4.6.1. Analisa perhitungan hasil metode tanpa pengasutan.....	46
4.6.2. Analisa perhitungan hasil metode <i>autotrafo</i>	46
4.6.3. Analisa perhitungan hasil metode <i>star-delta</i>	46
4.6.4. Analisa perhitungan hasil metode <i>resistor</i>	46
4.6.5. Analisa perhitungan hasil metode <i>reactor</i>	47

BAB V PENUTUP	48
5.1. Kesimpulan	48
5.2. Saran	48
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Motor induksi.....	5
Gambar 2.2	Penampang rotor dan stator motor induksi.....	8
Gambar 2.3	Rangkaian Motor Induksi.....	9
Gambar 2.4	Rangkaian ekivalen motor induksi dari sisi stator.....	11
Gambar 2.5	Rangkaian ekivalen motor induksi dari sisi stator dengan mengabaikan R_c	12
Gambar 2.6	Rangkaian ekivalen stator.....	12
Gambar 2.7	Rangkaian ekivalen rotor.....	13
Gambar 2.8	Medan putar pada motor induksi.....	15
Gambar 3.1	<i>Starting</i> tegangan penuh.....	22
Gambar 3.2	Rangkaian daya untuk sebuah tanpa pengasut.....	24
Gambar 3.3	Rangkaian daya untuk sebuah pengasut <i>Autotransformer</i>	25
Gambar 3.4	Pengasut <i>star-delta</i>	27
Gambar 3.5	Pengasutan <i>Resistor</i>	29
Gambar 3.6	Pengasutan <i>Reactor</i>	30
Gambar 3.6	Tampilan program <i>ETAP Power Station</i>	32
Gambar 3.7	<i>Flowchart</i> menggunakan simulasi <i>software ETAP Powerstation</i>	35
Gambar 4.1	Pemodelan <i>single line</i> diagram Simulasi PT Mount Dream Indonesia.....	36
Gambar 4.2	<i>Inputan data name plate</i> motor kedalam <i>software ETAP Powerstation</i>	38
Gambar 4.3	<i>Menu tools motor starting study case</i>	39
Gambar 4.4	Profil arus (A) pada saat tanpa pengasutan.....	40
Gambar 4.5	Profil tegangan (kV) pada saat tanpa pengasutan.....	40
Gambar 4.6	Profil arus (A) pada saat pengasutan <i>auto-trafo</i>	41
Gambar 4.7	Profil tegangan (kV) pada saat pengasutan <i>auto-trafo</i>	41
Gambar 4.8	Profil arus (A) pada saat pengasutan <i>star-delta</i>	42
Gambar 4.9	Profil tegangan (kV) pada saat pengasutan <i>star-delta</i>	42
Gambar 4.10	Profil arus (A) pada saat pengasutan <i>Resistor</i>	43

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Motor induksi banyak digunakan di industri untuk berbagai macam keperluan, diantaranya sebagai penggerak dalam proses produksi. Pada saat *start* motor dioperasikan pertama kali arus *starting* yang dihasilkan 5 sampai 7 kali arus nominal hal ini dapat menyebabkan terjadinya jatuh tegangan yang dapat mempengaruhi proses produksi karena banyaknya penggunaan beban – beban sensitive, seperti PLC, PC, dan Alat-alat elektronik lainnya (Yandri, 2011).

Dalam mengatasi arus *starting* pada motor induksi banyak digunakan metode pengasutan diantaranya *Auto Trafo*, *Star-Delta*, *Resistor*, dan *Reactor*. Semua metode pengasutan tersebut sangat baik digunakan untuk mengurangi arus *starting* pada motor sekaligus dapat meminimalisir jatuh tegangan [1].

PT. Mounts Dream Indonesia yang menjadi objek dalam penelitian ini adalah pabrik kertas di Indonesia yang menggunakan motor untuk proses penggilingan bubur kertas dan dibuat menjadi kertas, dengan jumlah motor 111 buah. Kebutuhan listrik pada PT. Mounts Dream Indonesia disupply oleh PLN dan 1 buah generator tenaga diesel.

Permasalahan muncul ketika dalam keadaan produksi atau giling PLN akan bekerja untuk memenuhi kebutuhan listrik di PT. Mounts Dream Indonesia yang sebagian besar menggunakan motor. Ketidakstabilan tegangan sering timbul terutama saat terjadinya *starting* motor berkapasitas besar yang ada di pabrik. Karena sebagian besar beban di PT. Mounts Dream Indonesia adalah motor, jatuh tegangan akan terjadi jika motor – motor besar melakukan proses pengasutan. Adanya arus *start* besar yang secara tiba – tiba ditarik dari system tenaga listrik dapat menyebabkan terjadinya jatuh tegangan.

Skripsi ini akan membahas mengenai jatuh tegangan (*Voltage sag*) yang diakibatkan oleh pengasutan motor berkapasitas besar yang ada di PT. Mounts Dream Indonesia.

1.1 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan diatas, maka permasalahan yang akan dibahas, yaitu bagaimana cara untuk menurunkan arus starting motor yang tinggi yang dapat menyebabkan penurunan tegangan sesaat (*sag*) pada sistem jaringan.

1.2 Tujuan Pembahasan

Adapun tujuan dari skripsi ini, yaitu Mengetahui besar *voltage sag* akibat *starting* motor induksi tiga fasa pada PT. Mount Dreams Indonesia.

1.3 Batasan Masalah

Agar permasalahan tidak meluas, maka pada proposal skripsi ini akan dibatasi beberapa hal, yaitu :

- a. Hanya membahas masalah *starting* motor induksi tiga fasa di PT. Mount Dreams Indonesia.
- b. *Starting* yang digunakan, yaitu : Dol, Auto Trafo, Star-Delta, Resistor, dan Reactor.
- c. Analisa *starting* motor disimulasikan menggunakan *software ETAP Powerstation*
- d. Data yang tidak didapat di Lapangan menggunakan Data Default dari *ETAP Powerstation*.
- e. Kualitas daya yang dibahas mengenai penurunan tegangan (*Voltage sag*) akibat *starting* motor induksi.

1.4 Sistematika Penulisan

Pada penyusunan penelitian ini terdiri dari V bab, dengan sistematika pembahasan sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Pada bab ini berisi pendahuluan yang menjadi latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan, metodologi serta sistematika pembahasan.

BAB II : TEORI DASAR

Pada bagian ini diuraikan mengenai motor induksi tiga fasa, aspek-aspek yang digunakan, prinsip kerja motor induksi, parameter-parameter yang ada dalam motor induksi, serta hal-hal yang berkaitan dengan perhitungan faktor daya, efisiensi, serta karakteristik motor induksi.

BAB III : PEMODELAN SIMULASI *SOFTWARE* *ETAP* *POWERSTATION*

Pada bagian ini akan diuraikan mengenai analisa *starting* motor yang digunakan dengan menggunakan simulasi *software ETAP Power Station*

BAB IV : ANALISA HASIL SIMULASI *STARTING* MOTOR

Pada bab ini berisikan tentang hasil analisis simulasi *starting* motor serta kualitas daya yang tepat dengan tampilan data berupa table-tabel dan grafik karakteristik untuk lebih memudahkan pengamatan.

BAB V : KESIMPULAN

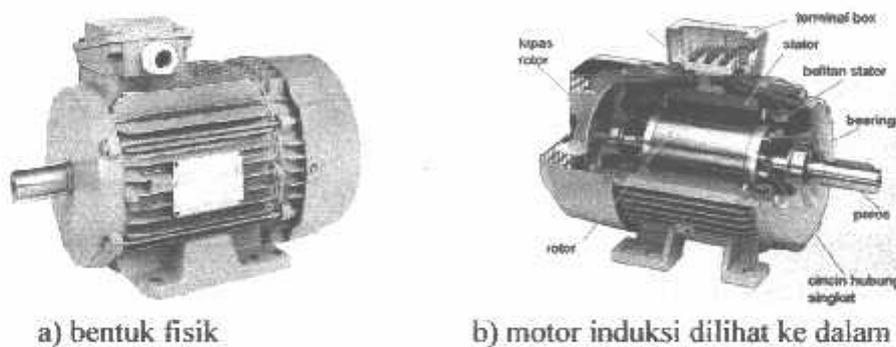
Merupakan bab terakhir yang merupakan intisari dan hasil pembahasan berisikan kesimpulan dan saran.

DAFTAR PUSTAKA

BAB II TEORI DASAR

2.1. Tinjauan umum

Motor induksi merupakan suatu motor yang banyak digunakan di dalam kehidupan sehari-hari terutama di pabrik – pabrik yang menggunakan motor sebagai penggerak. Motor arus bolak – balik (motor AC) adalah suatu mesin yang berfungsi untuk mengubah tenaga mekanik atau tenaga gerak, Dimana tenaga gerak ini berupa perputaran pada poros motor. Salah satu jenis motor AC ini adalah motor induksi atau motor tak serempak. Dinamakan motor tak serempak (*Asinkron*) karena putaran poros motor tidak sama dengan putaran medan *fluks* magnet stator. Dengan kata lain, bahwa antara putaran rotor dan putaran *fluks* magnet terdapat selisih putaran yang disebut *slip* (Arindya, Radita, 2013).



Gambar 2.1 motor induksi

Belitan stator yang dihubungkan dengan suatu sumber tegangan tiga fasa akan menghasilkan medan magnet yang berputar dengan kecepatan sinkron. Medan putar pada stator tersebut akan memotong konduktor – konduktor pada rotor, sehingga terinduksi arus dan rotor akan ikut berputar mengikuti medan

putar stator. Bertambahnya beban, akan memperbesar kopel motor, yang oleh karenanya akan memperbesar arus induksi pada rotor, sehingga *slip* antara medan putar stator dan putaran rotor akan bertambah besar. Jadi, apabila beban motor bertambah, putaran rotor cenderung menurun.

Tegangan sistem daya akan menurun, Dimana tegangan jatuh ini mengganggu kerja dari relai, kontaktor, lampu menyala, maupun peralatan elektronik dan komputer yang ada disekitarnya.

Kelebihan penggunaan motor induksi :

- Konstruksi sangat kuat dan sederhana terutama bila motor dengan rotor sangkar.
- Untuk pengasutan tidak memerlukan motor lain sebagai penggerak mula.
- Effisiensi relative tinggi pada keadaan normal, tidak ada sikat sehingga rugi gesekan kecil.
- Harganya relatif murah dan keandalannya tinggi.
- Menghasilkan putaran yang konstan.
- Biaya pemeliharaan rendah karena pemeliharaan motor hampir tidak diperlukan.

Kelemahan penggunaan motor induksi :

- Arus start biasanya 5 - 7 kali dari arus nominal
- Power faktor rendah pada beban ringan
- Kecepatan tidak mudah dikontrol

2.2 Prinsip Kerja Motor Induksi

Berputarnya rotor pada motor induksi ditimbulkan oleh adanya medan putar yang dihasilkan dalam kumparan statornya. Medan putar ini akan terjadi apabila kumparan stator dihubungkan dengan suatu sumber tegangan tiga fasa.

Prinsip kerjanya dari motor induksi adalah sebagai berikut :

1. Apabila sumber tegangan 3 fasa dipasang pada kumparan stator, maka akan timbul medan putar dengan kecepatan

$$n_s = \frac{120.f}{p} \dots\dots\dots (2-1)$$

Dimana :

n_s = Kecepatan sinkron (rpm)

f = Frekuensi (Hz)

p = Jumlah kutub

2. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor sehingga pada kumparan rotor timbul tegangan induksi (GGL Induksi).
3. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian yang tertutup, maka akan mengalir arus (I). Kawat penghantar (kumparan rotor) yang dialiri arus yang berada dalam medan magnet akan menimbulkan gaya (F) pada rotor.
4. Bila kopel mula yang dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk memikul kopel beban, maka rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.
5. Seperti telah dijelaskan pada (3) tegangan induksi timbul karena terpotongnya batang konduktor (rotor) oleh medan putar stator. Artinya agar tegangan terinduksi diperlukan adanya perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator (n_s) dengan kecepatan berputar rotor (n_r).
6. Perbedaan kecepatan antara n_r dan n_s disebut slip (S) dinyatakan dengan:

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

Dimana :

s = Slip

n_s = Kecepatan sinkron (rpm)

n_r = Kecepatan rotor (rpm)

7. Bila $n_r = n_s$, tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak akan mengalir pada kumparan jangkar rotor, dengan demikian tidak dihasilkan kopel. Kopel motor akan ditimbulkan apabila n_r lebih kecil dari n_s .
8. Dilihat dari cara kerjanya, motor induksi disebut juga motor tak serempak atau asinkron.

- Torsi *starting* rendah

Rotor kumparan mempunyai karakteristik :

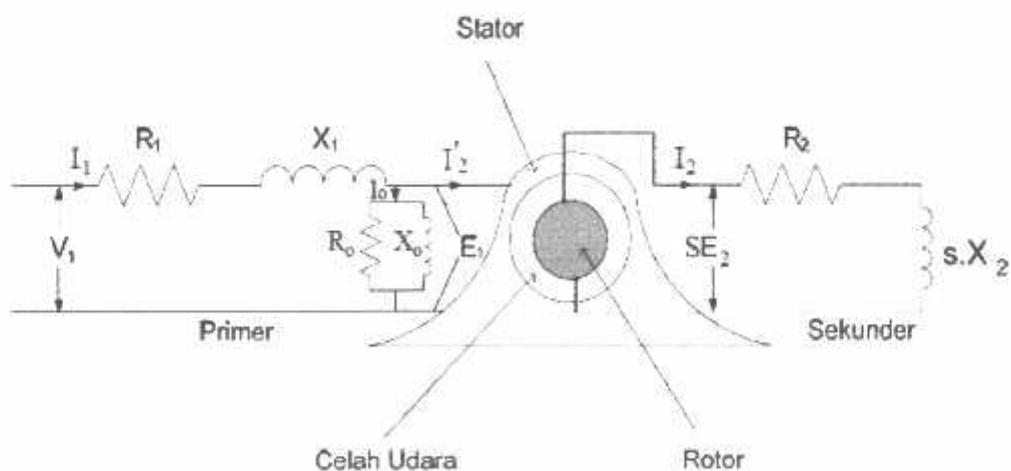
- Memungkinkan tahanan luar dihubungkan ke tahanan rotor melalui *slip ring* yang terhubung ke sikat.
- Arus *starting* rendah
- Torsi *starting* tinggi
- Faktor daya

Rotor sangkar adalah motor induksi jenis ini mempunyai rotor dengan kumparan yang terdiri atas beberapa batang konduktor yang disusun sedemikian rupa sehingga menyerupai sangkar tupai.

Kumparan rotor merupakan 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.

2.4 Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi

Untuk mempermudah penganalisaan dengan menggunakan rangkaian-rangkaian ekuivalen, lebih dahulu ditinjau keadaan motor induksi dimana motor induksi sebagai satu transformator. Penyaluran energi dari stator ke rotor dari satu motor induksi adalah besaran induksi elektromagnetik, karenanya motor induksi dapat dianggap sebagai transformator dengan stator merupakan primer dan rotor sebagai rangkaian sekunder seperti yang terlihat pada gambar 2.3 di bawah ini:



Gambar 2.3 Rangkaian Motor Induksi

Dalam diagram vektor gambar, V_1 adalah tegangan fasa stator; R_1 dan X_1 adalah tahanan stator dan reaktansi bocor pada lilitan fasa stator. Tegangan (V_1) menghasilkan fluks magnet, dimana primer (stator) dan dalam sekunder (rotor) timbul tegangan induksi E_r ($s.E_2$). Tegangan terminal sekunder tidak ada sebab keseluruhan tegangan induksi E_r telah habis terpakai dalam rangkaian tertutup dari rotor, dengan demikian:

$$V_1 = E_1 + I_1 (R_1 + X_1) \dots\dots\dots (2-3)$$

Dimana :

- V_1 = tegangan fasa stator(volt)
- R_1 = tahanan stator(ohm)
- X_1 = reaktansi bocor pada lilitan fasa stator(ohm)
- E_1 = tegangan induksi(volt)
- I_1 = arus stator(amp)

Besarnya E_r tergantung pada faktor transformasi tegangan antara stator dan rotor, dan juga tergantung pada slip. Seakan-akan seluruhnya tegangan E_r diserap dalam impedansi rotor.

$$E_r = I_2 \cdot Z_2 \dots\dots\dots (2-4)$$

Dimana :

- E_r = tegangan induksi(volt)
- I_2 = arus rotor(amp)
- Z_2 = impedansi rotor(ohm)

Atau

$$E_r = I_2 \cdot (R_2 + X_2) \dots\dots\dots (2-5)$$

Dimana :

- E_r = tegangan induksi(volt)
- I_2 = arus rotor(amp)
- R_2 = tahanan rotor(ohm)
- X_2 = reaktansi bocor pada lilitan fasa stator(ohm)

Dalam diagram vektor, I_0 adalah arus primer tanpa beban. Arus ini mempunyai dua komponen yaitu komponen rugi besi (I_c), yang

menghasilkan rugi motor, arus magnetisasi (I_m) yang menghasilkan fluks magnet.

Dengan demikian :

$$I_0^2 = (I_c)^2 + (I_m)^2 \dots\dots\dots(2-6)$$

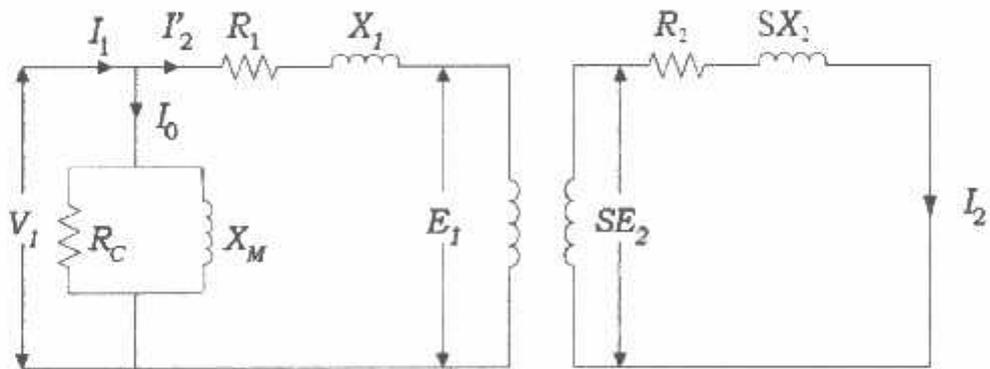
Dimana :

I_0 = arus primer tanpa beban(amp)

I_c = komponen rugi besi(amp)

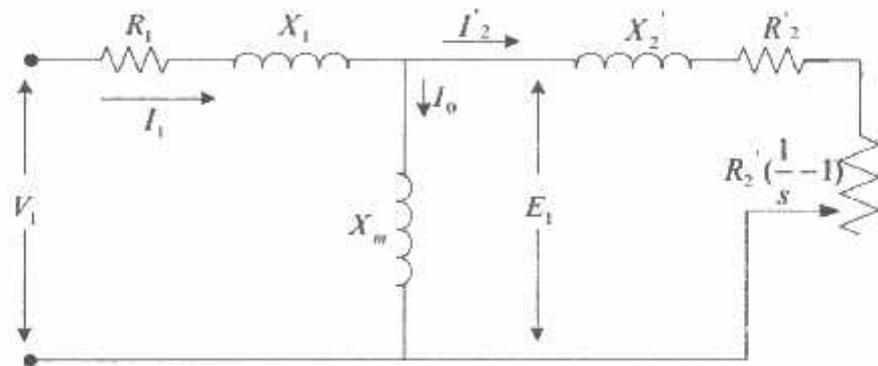
I_m = arus magnetisasi(amp)

Umumnya pada transformator, I_0 adalah kecil. Hal ini disebabkan reaktansi pada transformator rendah. Seperti halnya pada transformator, harga sekunder dapat ditransfer ke primer atau sebaliknya. Peralihan impedansi atau resistansi dari sekunder ke primer harus dikali dengan a^2 , sedangkan arus dibagi dengan a . rangkaian ekuivalen motor induksi dimana semua harga stator di transfer ke primer adalah seperti Gambar 2.4 di bawah ini:



Gambar 2.4 Rangkaian ekuivalen motor induksi dilihat dari sisi stator

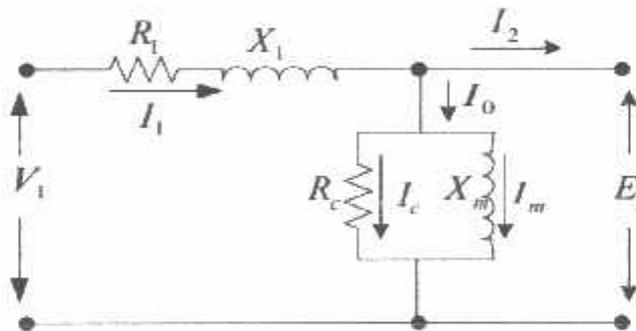
Sedangkan rangkaian ekivalen motor induksi dapat dilihat pada Gambar 2.5 berikut:



Gambar 2.5 Rangkaian ekivalen motor induksi dilihat dari sisi stator dengan mengabaikan R_c

2.4.1 Rangkaian Ekivalen Stator

Untuk mempermudah analisis motor induksi, digunakan metoda rangkaian ekivalen per – fasa. Motor induksi dapat dianggap sebagai transformator dengan rangkaian sekunder berputar. Rangkaian ekivalen statornya dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.6 Rangkaian ekivalen stator

Dimana :

V_1 = Tegangan terminal stator (Volt)

E_1 = Ggl lawan yang dihasilkan oleh fluks celah udara resultan (Volt)

I_1 = Arus stator (Amper)

R_1 =Tahanan efektif stator (Ohm)

X_1 =Reaktansi bocor stator (Ohm)

2.4.2 Rangkaian Ekuivalen Rotor

Pada saat rotor diam, medan putar stator akan memotong batang konduktor rotor dengan kecepatan putar sinkron (n_s), sehingga frekuensi arus rotor sama dengan frekuensi arus stator ($f_s = f_r$) dan slip sama dengan satu ($s=1$). Dengan mengetahui bahwa frekuensi arus/tegangan rotor adalah frekuensi slip, maka reaktansi bocor rotor (*leakage reactance*) per fasa adalah :

$$X_2 = sX_2 \dots\dots\dots (2-7)$$

$$X_2 = 2\pi \cdot f_2 \cdot L_2 \dots\dots\dots (2-8)$$

Dimana :

X_2 = reaktansi rotor (ohm)

f_2 = frekuensi arus stator

L_2 = induktansi rotor

dimana X_2 merupakan reaktansi rotor pada start atau diam.

Tegangan induksi pada rotor :

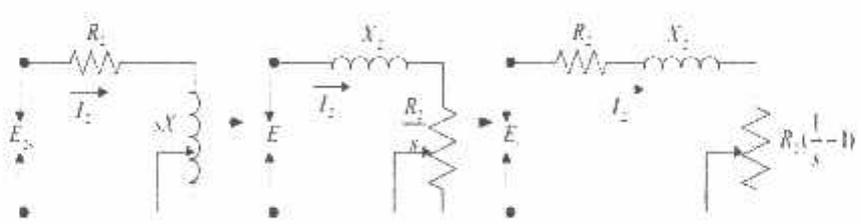
$$E_2 = 4,44f_2N_2\Phi_m \dots\dots\dots (2-9)$$

Pada slip (s) frekuensi rotor menjadi $s f_s$, maka tegangan induksi pada rotor (E_2) pada slip (s) adalah :

$$E_2 = 4,44s f_1 N_2 \Phi_m \dots\dots\dots (2-10)$$

Dengan memasukkan persamaan (2-9) ke (2-10) maka didapat persamaan :

$$E_2 = s E_2 \dots\dots\dots (2-11)$$



Gambar 2.7 Rangkaian Ekuivalen Rotor

Dimana :

s = Slip

E_2 = Tegangan induksi per fasa didalam rotor keadaan diam (volt)

R_2 = Resistansi kumparan rotor per fasa berpatokan pada stator(ohm)

X_2 = Reaktansi bocor rotor per fasa berpatokan pada stator(ohm)

Berdasarkan persamaan (2-7) dan (2-11) maka diperoleh rangkaian ekivalen rotor seperti pada Gambar 2.7.

Besar arus rotor (I_2) saat berputar adalah :

$$I_2 = \frac{sE_2}{\sqrt{R_2^2 + (sX_2)^2}} \dots\dots\dots(2-12)$$

Atau

$$I_2 = \frac{sE_2}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{s}\right)^2 + X_2^2}} \dots\dots\dots(2-13)$$

Dimana :

I_2 = arus rotor (amp)

s = slip

E_2 = Tegangan induksi per fasa di dalam rotor keadaan diam (volt)

R_2 = Resistansi kumparan rotor (ohm)

X_2 = Reaktansi bocor rotor (ohm)

Sedangkan torsi untuk motor induksi dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$P_0 = T \cdot \omega_r(2-19)$$

$$T_0 = \frac{P_0}{\omega_r} \dots\dots\dots(2-14)$$

$$\omega_r = \frac{2 \cdot \pi \cdot nr}{60} \dots\dots\dots(2-15)$$

$$P_{in} = \sqrt{3} \cdot V_L I \cdot \cos\phi \dots\dots\dots(2-16)$$

Dimana :

P_0 = daya output (watt)

T_0 = torsi mekanik (N-m)

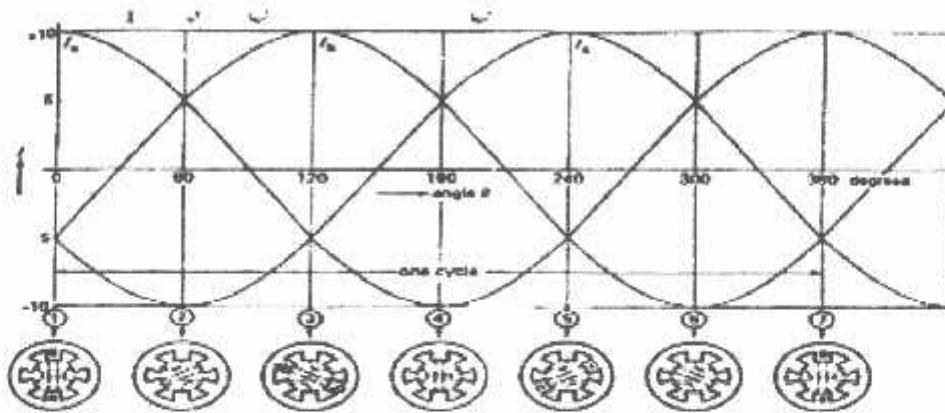
ω_r = kecepatan sudut rotor (rad/sec)

P_{in} = daya input (watt)

2.5 Medan Magnet Putar

Belitan stator dihubungkan dengan catu daya tiga fasa maka akandihasilkan medan magnet yang berputar, medan magnet ini dibentuk

oleh kutub – kutubnya yang berada pada posisi yang tidak tetap pada stator tetapi berubah – ubah mengelilingi stator. Adapun magnitud dari medan putar ini selalu tetap yaitu sebesar $1.5 \phi_m$ dimana ϕ_m adalah fluks yang disebabkan suatu fasa. Hubungan dapat berupa hubungan bintang atau delta.



Gambar 2.8 Medan putar pada motor induksi

Medan putar terjadi apabila kumparan A-a, B-b, C-c dihubungkan tiga fasa dengan beda fasa masing-masing 120° (hubungan bintang Y) dan dialiri arus sinusoidal. Distribusi i_a , i_b , i_c sebagai fungsi waktu adalah seperti Gambar 2.2. Pada keadaan t_1 fluks resultan mempunyai arah yang sama dengan arah yang dihasilkan oleh kumparan A-a, sedangkan pada t_3 , fluks resultannya berlawanan arah dengan fluks resultan yang dihasilkan pada t_1 . Dari Gambar 2.3 tersebut menunjukkan bahwa fluks resultan ini akan berputar satu kali.

2.5.1 Slip dan Frekuensi Arus Rotor

Perbedaan kecepatan putaran rotor (n_r) terhadap kecepatan medan putar stator (n_s) disebut dengan slip. Berubahnya kecepatan motor dapat mengakibatkan berubahnya besar slip 100 % pada saat *start* sampai 0 % pada saat diam ($n_r = n_s$). karena terjadi slip maka kecepatan relatif medan putar stator terhadap putaran rotor adalah $s \times n_s$. frekuensi tegangan yang terinduksi pada rotor sebanding dengan putaran relatif medan putar stator terhadap putaran rotor. Hubungan antar frekuensi slip dapat dilihat dari persamaan berikut : Bila $f_1 =$ frekuensi

$$n_s = \frac{120 f}{p} \dots\dots\dots (2-17)$$

Atau

$$f_1 = \frac{p \cdot n_s}{120} \dots\dots\dots (2-18)$$

Dimana :

- f_1 = frekuensi
- p = jumlah kutub
- n_s = kecepatan sinkron (rpm)

Pada rotor berlaku hubungan

$$f_2 = \frac{p (n_s - n_r)}{120} \dots\dots\dots (2-19)$$

Dimana :

- f_2 = frekuensi rotor
- p = jumlah kutub
- n_s = kecepatan sinkron
- n_r = kecepatan rotor

Bila f_2 = frekuensi rotor

$$f_2 = \frac{p \cdot n_s}{120} \times \frac{n_s - n_r}{n_s} \dots\dots\dots (2-20)$$

karena

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \text{ dan } f_1 = \frac{p \cdot n_s}{120} \dots\dots\dots (2-21)$$

Dimana :

- s = slip
- n_s = kecepatan sinkron (rpm)
- n_r = kecepatan rotor (rpm)

Maka :

$$f_2 = f_1 \cdot s \dots\dots\dots (2-22)$$

Dimana :

- f_2 = frekuensi rotor
- f_1 = frekuensi stator
- s = slip

karena pada saat *start* $s = 100 \%$

dengan demikian terlihat bahwa pada saat start dan rotor belum berputar, frekuensi arus rotor sama dengan frekuensi stator. Dalam keadaan rotor berputar, frekuensi rotor di pengaruhi oleh slip ($f_2 = f_1 \cdot s$). Karena tegangan induksi dan reaktansi kumparan rotor merupakan fungsi frekuensi, maka besarnya juga di pengaruhi oleh slip.

2.6 Daya Aktif (*Active Power*)

Daya aktif (*Active Power*) adalah daya yang terpakai untuk melakukan energi sebenarnya. Satuan daya aktif adalah Watt. Adapun persamaan dalam daya aktif sebagai berikut :

Untuk 1 fasa :

$$P = V \cdot I \cos\theta \dots\dots\dots(2-23).$$

Untuk 3 fasa :

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cos\theta \dots\dots\dots(2-24)$$

Dimana : P = daya aktif (watt)

V = tegangan 3 fasa (volt)

I = arus 3 fasa (amper)

2.6.1 Daya Reaktif (*Reactive Power*)

Daya reaktif adalah jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet. Dari pembentukan medan magnet maka akan terbentuk fluks medan magnet. Contoh daya yang menimbulkan daya reaktif adalah transformator, motor, dan lain-lain. Satuan daya reaktif adalah Var.

Untuk 1 fasa :

$$Q = V \cdot I \sin\theta \dots\dots\dots(2-25)$$

Untuk 3 fasa :

$$Q = \sqrt{3}V \cdot I \sin\theta \dots\dots\dots(2-26)$$

Dimana : Q = daya rata-rata yang disebut juga daya reaktif (var)

V = tegangan 3 fasa (volt)

I = arus 3 fasa (amper)

Daya reaktif terdiri dari dua macam yaitu daya reaktif induktif dan daya reaktif kapasitif, dimana keduanya memiliki tanda yang berlawanan. Daya reaktif kapasitif adalah daya yang dibutuhkan oleh kapasitor yang tidak menghasilkan kerja tetapi tersimpan dalam bentuk energi magnetis atau energi kapasitif. Sedangkan daya reaktif induktif adalah daya listrik yang dibutuhkan untuk menghasilkan medan magnet yang dibutuhkan oleh alat-alat seperti motor induksi, transformator dan lain sebagainya.

2.6.2 Daya Semu (*Apparent Power*)

Daya Semu (*Apparent Power*) adalah daya yang dihasilkan oleh perkalian antara tegangan dan arus dalam suatu jaringan. Satuan daya semu adalah VA.

Untuk 1 fasa :

$$S = V \cdot I \dots\dots\dots (2-27)$$

Untuk 3 fasa :

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \dots\dots\dots (2-28)$$

2.7. Penyebab Penurunan Tegangan

Penurunan tegangan berbeda dengan tegangan kurang (*under voltage*), durasi *under voltage* lebih dari 1 menit dan dapat dikontrol dengan peralatan regulasi tegangan (*voltage regulator*) (Pawawoi, 2009). Penurunan tegangan dapat disebabkan oleh hal-hal sebagai berikut, diantaranya:

- Gangguan pada sistem, seperti gangguan hubung singkat. Gangguan yang sering terjadi pada sistem adalah gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah.
- Pemikulan beban yang besar atau pengasutan motor berkapasitas besar.

- Sesuatu yang terjadi pada saluran penyaluran daya, seperti kecelakaan saat perbaikan dalam keadaan bertegangan, sambaran petir (*lightning strike*) dan benda jatuh yang menyebabkan gangguan ke tanah.
- Perubahan beban yang berlebihan atau di luar batas kemampuan sistem daya.

Perubahan beban besar secara mendadak atau pengasutan motor (*motor starting*) juga dapat menyebabkan dip tegangan.

2.7.1 Penurunan Tegangan Saat Pengasutan Motor^{[7][8]}

Motor listrik AC (sangkar tupai dan sinkron), menarik arus *start* tegangan penuh sebesar 5 – 7 kali arus nominal beban penuh agar dapat memperoleh torsi *starting* pengasutan cukup untuk mulai berputar. Adanya arus *start* besar yang secara tiba – tiba ditarik dari sistem tenaga listrik dapat menyebabkan penurunan tegangan. Akibat yang merugikan karena terjadinya penurunan tegangan antara lain :

1. Torsi transien *shaft* pada motor, yang dapat menyebabkan kerusakan pada sistem mekanik.
2. Drop tegangan yang berlebihan, yang dapat menghambat akselerasi motor dari kondisi diam ke kecepatan penuhnya.
3. Terjadi kesalahan fungsi dari kinerja peralatan – peralatan lain seperti : rele, kontaktor, peralatan elektronik, komputer (media penyimpanan data), dan terjadinya *flicker* pada penerangan yang dapat mengganggu.

2.7.2 Perhitungan penurunan tegangan

Perhitungan penurunan tegangan, nilai *minimum symmetrical interrupting duty* pada titik sumber sistem harus diketahui. Kemudian, menghitung impedansi saluran sistem atau reaktansi antara titik sumber dan motor. Impedansi motor dapat dihitung berdasarkan katalog dari pabrik pembuatnya, yang biasanya diberikan nilai untuk tegangan penuh dan arus *locked-rotor*.

Dalam menghitung tegangan motor saat terjadi pengasutan digunakan persamaan :

$$V_s = \frac{Z_m}{\sqrt{(R_m+R_s)^2+(X_m+X_s)^2}} \times V_1 \dots\dots\dots(2.29)$$

Dengan :

- V_s = Tegangan motor saat pengasutan (Volt)
- V_1 = Tegangan awal saat pengasutan (Volt)
- Z_m = Impedans motor yang diasut (*ohm*)
- R_m = $Z_m \cos \theta_m$ (*ohm*)
- X_m = $Z_m \sin \theta_m$ (*ohm*)
- $\cos \theta_m$ = Faktor daya arus yang ditarik oleh motor yang diasut
- R_s = Resistansi total jaringan antara motor dan titik pada sistem
- X_s = Reactans total jaringan antara motor dan titik pada sistem

Persamaan diatas dapat disederhanakan menjadi :

$$V_s = \frac{Z_m}{Z_m+X_s} \times V_1 \dots\dots\dots(2.30)$$

Dengan :

- V_s = Tegangan motor saat pengasutan (Volt)
- V_1 = Tegangan awal saat pengasutan (Volt)
- Z_m = Impedans motor yang diasut (*ohm*)
- X_s = Reaktans total jaringan antara motor dan titik pada sistem

Karena perhitungan *drop* tegangan saat pengasutan motor biasanya ditujukan untuk motor – motor yang memiliki kapasitas diatas 100 HP, *error* yang ada pada persamaan yang disederhanakan dapat diabaikan. Prosentase *drop* tegangan saat pengasutan dapat diperoleh melalui persamaan :

$$V_s = \frac{Z_m}{Z_m+X_s} \times V_1 \dots\dots\dots(2.31)$$

Dengan :

- $\%V_s$ = Prosentase tegangan sistem saat *starting* motor
- $\%Z_m$ = Prosentase impedans motor
- $\%X_s$ = Prosentase reaktans total jaringan antara motor dan titik pada sistem

Besar impedans motor (*ohm*) adalah :

$$Z_m = \frac{V_m}{\sqrt{3} \times I_s} \dots\dots\dots(2.32)$$

Dengan :

V_m = Tegangan *rating* motor (Volt)

I_s = Arus *starting* pada tegangan *rating* motor (Amp)

Prosentase impedans motor dihitung dengan persamaan :

$$\%Z_m = \frac{100}{I_{LR}/I_{FL}} \dots\dots\dots(2.34)$$

Dengan :

I_{LR} = Arus locked-rotor (Amp)

I_{FL} = Arus beban penuh/*full-load* (Amp)

kecepatan penuh. Arus *starting* awalnya sangat besar, kira-kira 4 sampai tujuh kali arus beban penuh, sedangkan torsi *starting*nya adalah 0,75 sampai 2 kali torsi beban penuh.

Starting tegangan penuh akan menghasilkan arus dan torsi yang tinggi, sehingga dapat menyebabkan jatuh tegangan yang tinggi. Untuk menghindari jatuh tegangan yang tinggi maka metode *starting* ini hanya dilakukan pada motor berkapasitas kecil.

Rumus arus *starting* adalah :

$$I_{st} = 4 \text{ s/d } 7 \cdot I_n \quad \dots\dots\dots (3-1)$$

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3}VC\cos\theta\eta} \quad \dots\dots\dots (3-2)$$

$$\text{Slip} = 1$$

$$I_2 = \frac{E_{20}}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}} \quad \dots\dots\dots (3-3)$$

Dengan memperhatikan rumus arus *starting* diatas, dapat disimpulkan, bahwa salah satu cara untuk dapat menurunkan arus *starting* adalah menurunkan tegangan sumber atau tegangan apit (E_{20}), dengan menggunakan peralatan pengasutan motor.

3.2 Analisa Menggunakan Pengasutan Motor

Cara yang paling mudah untuk menurunkan arus *starting* adalah dengan menurunkan tegangan terminal menggunakan peralatan *starting* motor. Ketika motor distart pada tegangan penuh, arus yang ditarik dari I nominal daya umumnya adalah 600% dari arus beban penuh.

Arus *starting* yang besar dari motor dapat menyebabkan penurunan tegangan. Tambahan pula dengan arus awal yang tinggi, motor juga menghasilkan torsi awal yang lebih tinggi dibandingkan torsi beban penuh. Pada beberapa aplikasi, torsi awal ini menyebabkan kerusakan sistem mekanis. Misalnya pada belt (sabuk), rantai, atau kopleng. Ketika tegangan pada motor dikurangi, maka arus yang ditarik oleh motor dan torsi yang dihasilkan motor menurun.

Pembatasan arus pada sisi penerima, dan juga kapasitas rel pada pabrik, dapat memerlukan motor yang diatas power tertentu diasut dengan tegangan yang

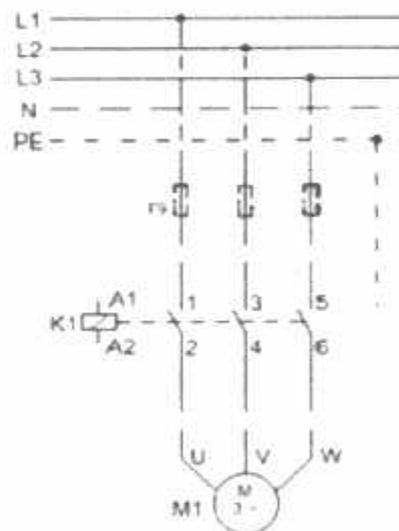
dikurangi. Beban kinerja tinggi dapat memerlukan kontrol akselerasi motor beban. Jika beban yang digerakkan atau sistem distribusi daya tidak dapat menerima pengasutan beban penuh, beberapa jenis tegangan yang dikurangi meliputi pengasutan tahanan primer, *auto-transformator*, *start-delta*, pengasutan bagian lilitan dan solid-state.

3.3 Pengasutan Motor

Arus yang ditarik pada saat pengasutan mencapai 5 sampai 7 kali arus nominal. Pada motor induksi berkapasitas besar hal ini akan mengakibatkan *voltage dip* pada sistem jaringan dan dapat merusak motor induksi itu sendiri. Cara yang paling mudah adalah dengan menurunkan tegangan terminal motor.

3.3.1 Starting tanpa Pengasutan (*direct on line*)

Direct On Line adalah cara *starting* paling sederhana, dimana stator di hubungkan langsung dengan sumber tegangan (lihat gambar 3.2). *start* motor memiliki karakteristik sendiri.



Gambar 3.2 Tanpa Pengasut (*Direct On Line*)

Ketika dinyalakan, motor bertindak seperti suatu transformator dengan sekundernya berupa rotor belitan dengan tahanan yang kecil dihubung singkat. Ada arus induksi tinggi yang mengalir pada rotor yang menyebabkan suatu arus puncak pada sumber tegangan yaitu :

Arus *start* = 5 sampai 8 arus nominal

Torsi *start* rata-rata adalah :

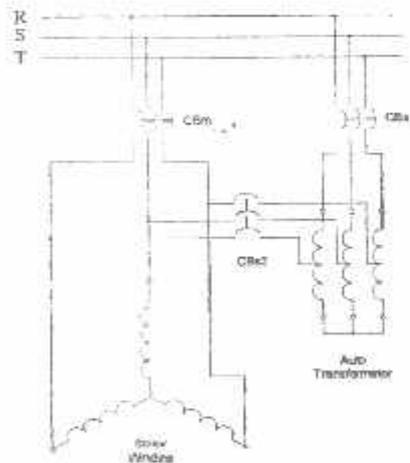
Torsi *start* = 0,5 sampai 1,5 torsi nominal

Kendati keuntungannya (peralatan yang sederhana , torsi *start* tinggi, kecepatan tinggi, biaya rendah), *start* langsung hanya boleh digunakan jika :

1. Motor dengan daya kecil
2. Mesin tidak harus mempercepat secara perlahan-lahan atau memiliki suatu alat yang membatasi guncangan saat *start*.
3. Torsi *start* tinggi tidak mempengaruhi kerja mesin atau beban yang dikendalikan.

3.3.2 Pengasutan *autotransformer*

Sebuah pengasut *autotransformer* memakai prinsip dari sebuah transformator yang bertindak mengurangi tegangan terhadap sebuah motor. Pada saat motor diasut lilitan primer *autotransformer* tiga fasa dihubung ke saluran suplai dan lilitan sekunder dihubung ke motor. Gambar 3.3 berisikan rangkaian sebuah pengasut *autotransformer*.



Gambar 3.3 Pengasut Autotransformer

Proses pengasutan terdiri dari tiga (3) tahap :

1. *Autotransformer* dihubungkan ke *star* pada saat kontaktor K_1 dan K_3 menutup dan menjalankan motor pada tegangan yang berkurang.
2. Titik netral terbuka. Bagian lilitan dari *autotransformer* yang disambungkan dalam rangkaian dengan masing-masing koil motor berlaku sebagai induktansi.
3. Kontaktor K_2 menghubungkan motor secara langsung ke saluran suplai dan mengakibatkan kontaktor-kontaktor K_1 dan K_3 terbuka.
memakai rangkaian di atas motor tidak disambungkan dari suplai dengan mengikuti tiga tahapan di atas.

Autotransformer mempunyai *tap* (alat pengatur) pada lilitan untuk bisa menghasilkan pilihan tegangan yang sesuai. Contoh, lilitan transformer diatur senilai 50%, 65%, atau 80% dari tegangan aliran sebagai tegangan awal.

- Kegunaan pengasut *autotransformer*

Sebuah pengasut *autotransformer* secara khusus cocok untuk motor-motor budaya tinggi. Pengasutan ini menyediakan torsi asut yang tinggi dengan puncak arus yang lebih rendah. Aplikasi praktis mencakup unit-unit refrigasi berjenis lebih besar dan kompresor-kompresor udara di mana motor harus diasut berlawanan dengan tekanan utama substansi yang berat.

- Kelebihan pengasut *autotransformer*

1. Pengaturan (*tap*) transformer dapat dilakukan untuk batasan beban yang luas.
2. Karakteristik torsi terhadap arus alir merupakan suatu nilai yang optimal.
3. Motor tidak diputus-hubungkan dari suplai selama perubahan akibat pengaturan (*tap*), dengan demikian bisa mengurangi transient.

- Kelemahan pengasut *autotransformer*

1. Mahal.
2. Sangat berat dan besar dibandingkan jenis-jenis pengasut lain.

Rincian kerja pengasut *Star-Delta* dinamakan jenis transisi terbuka karena motor dalam sesaat diputus-hubungkan dari suplai selama perubahan keadaan dari *star* ke *delta*. Selama periode tansisi ini, gelombang arus berkemungkinan akan terdapat pada jalur suplai. Untuk menghindari gelombang arus ini, pengasut jenis transisi tertutup bisa digunakan sebagaimana motor tetap terhubung ke jalur suplai melalui resistor selama perubahan keadaan dari *star* ke *delta*.

- Kegunaan Pengasut *Star-delta*

Pengasut *Star-delta* digunakan bila adanya kebutuhan terhadap waktu akselerasi yang panjang dan asut yang berkeseringan. Aplikasi praktis khusus tersebut mencakup beban kelembaman yang tinggi seperti pada unit *air-conditioning* centrifugal.

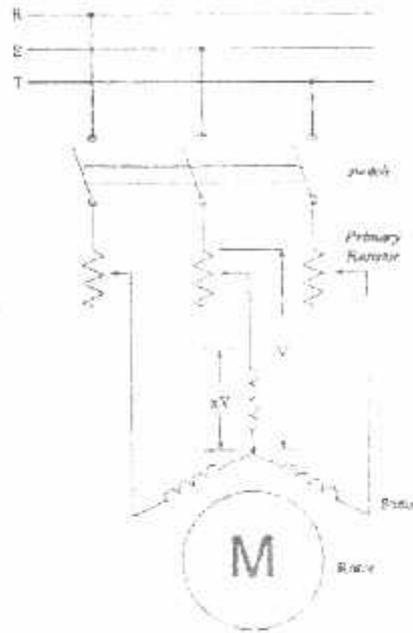
- Kelebihan pengasut *Star-delta*

1. Metode pengasutan yang lebih murah dibandingkan metode Soft Starting, Autotransformer
2. Karakteristik kecepatan / arus / torsi yang baik
3. Cocok untuk berbagai jenis motor
4. Mudah dipasang dalam berbagai situasi

- Kelemahan Pengasutan *Star-delta*

1. Motor harus memiliki enam ujung koil, dalam hal ini, enam terminal
2. Umumnya cocok untuk beban-beban yang memiliki torsi asut rendah
3. Pada jenis transisi terbuka, menghasilkan *arus transient*

3.3.4 Pengasutan Resistor



Gambar 3.5 Pengasutan Resistor

Gambar 3.5 menunjukkan susunan pengasutan resistor. Pengasutan resistor menambah resistor pada rangkaian stator selama periode pengasutan. Jadi mengurangi arus yang ditarik dari lin. Penutupan kontak pada A menghubungkan motor dengan suplay melalui resistor yang memberikan penurunan tegangan untuk mengurangi tegangan pengasut yang ada pada motor.

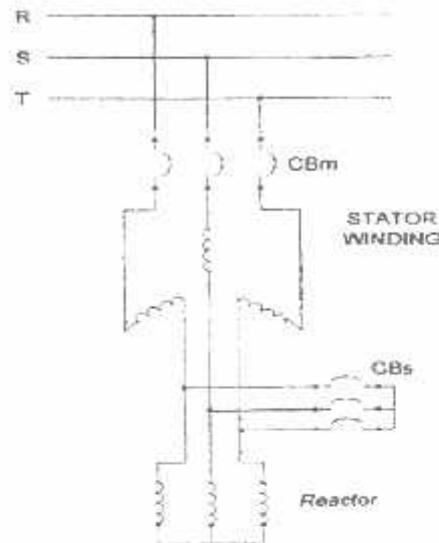
Nilai tahanan dipilih untuk menghasilkan torsi pengasutan yang cukup sambil mengurangi arus starting. Arus "inrush" motor menurun selama akselerasi, sehingga mengurangi penurunan tegangan pada resistor dan memberikan torsi yang lebih besar. Hal ini mengakibatkan akselerasi yang lembut. Sesudah beberapa periode waktu, switch dibuka dan resistor di "shorted" untuk menghubungkan motor pada tegangan penuh.

$$I_{st} = R \cdot I_{sc} \quad \dots \dots \dots (3-6)$$

$$T_{st} = R^2 T_{sc} \quad \dots \dots \dots (3-7)$$

$$\frac{T_{st}}{T_f} = \left(\frac{I_{st}}{I_f}\right)^2 \quad S_f = \left(\frac{R \cdot I_{sc}}{I_f}\right)^2 \quad S_f = R^2 \left(\frac{I_{sc}}{I_f}\right)^2 \quad S_f \quad \dots \dots \dots (3-8)$$

3.3.5 Pengasutan *Reactor*



Gambar 3.6 Pengasutan *Reactor*

Cara lain untuk menurunkan arus awal adalah dengan menggunakan *Reactor*. Pada gambar 3.6 semua *reactor* dihubungkan seri pada rangkaian stator yang terhubung dengan CBs yang tersambung dengan jaringan tiga fasa. Pada saat start seluruh *reactor* terpasang pada rangkaian stator, sehingga impedansi stator dilihat dari jaringan menjadi tinggi, yang menyebabkan arus stator menjadi rendah. Beberapa waktu saat start, arus awal agak menurun. Kemudian setelah motor berakselerasi, maka saklar dilepas sehingga arus awal naik lagi dalam waktu sebentar kemudian motor berputar sesuai dengan arus nominalnya.

$$I_{st} = X_L \cdot I_{sc} \quad \dots\dots\dots(3-9)$$

$$T_{st} = X_L^2 T_{sc} \quad \dots\dots\dots(3-10)$$

$$\frac{T_{st}}{T_f} = \left(\frac{I_{st}}{I_f}\right)^2 S_f = \left(\frac{X_L I_{sc}}{I_f}\right)^2 S_f = X_L^2 \left(\frac{I_{sc}}{I_f}\right)^2 S_f \quad \dots\dots\dots(3-11)$$

3.4 *Software ETAP Power Station*

ETAP merupakan *software* full grafis yang dapat digunakan sebagai alat analisa untuk mendesain dan menguji kondisi sistem tenaga listrik yang ada. *ETAP* dapat digunakan untuk mensimulasikan sistem tenaga listrik secara *off line* dalam

bentuk modul simulasi, monitoring data operasi secara *real time*, simulasi *system real time*, optimasi, manajemen energi sistem dan simulasi *intelligent load shedding*. *ETAP* didesain untuk dapat menangani berbagai kondisi dan topologi system tenaga listrik baik di sisi konsumen industri maupun untuk menganalisa performa sistem di sisi *utility*. *Software* ini dilengkapi dengan fasilitas untuk menunjang simulasi seperti jaringan AC dan DC (*AC and DC networks*), desain jaringan kabel (*cable raceways*), *grid* pentanahan (*ground grid*), *GIS*, desain panel, *arc-flash*, koordinasi peralatan proteksi (*protective device coordination/selectivity*), dan AC/ DC control sistem diagram. (D. William, and Jr. Stevenson 1990)

ETAP Power Station juga menyediakan fasilitas *Library* yang akan mempermudah desain suatu sistem kelistrikan. *Library* ini dapat diedit atau dapat ditambahkan dengan informasi peralatan. *Software* ini bekerja berdasarkan plant (*project*). Setiap plant harus menyediakan modelling peralatan dan alat-alat pendukung yang berhubungan dengan analisa yang akan dilakukan. Misalnya generator, data beban, data saluran, dll. Sebuah plant terdiri dari sub-sistem kelistrikan yang membutuhkan sekumpulan komponen elektris yang khusus dan saling berhubungan. Dalam *Power Station*, setiap *plant* harus menyediakan data *base* untuk keperluan itu.

ETAP Power Station dapat digunakan untuk menggambarkan *single line diagram* secara grafis dan mengadakan beberapa analisa/studi yakni *Load Flow* (aliran daya), *Short Circuit* (hubung singkat), motor *starting*, harmonisa, *transient stability*, *protective device coordination*, dan *Optimal Capacitor Placement*.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam bekerja dengan *ETAP Power Station* adalah: (D. William, and Jr. Stevenson. 1990)

- ***One Line Diagram***, menunjukkan hubungan antar komponen/peralatan listrik sehingga membentuk suatu sistem kelistrikan.
- ***Library***, informasi mengenai semua peralatan yang akan dipakai dalam system kelistrikan. Data elektris maupun mekanis dari peralatan yang detail/lengkap dapat mempermudah dan memperbaiki hasil simulasi/analisa.

pengembangan sistem dimasa-masa yang akan datang. Karena seiring dengan bertambahnya konsumen akan kebutuhan tenaga listrik, maka akan selalu terjadi perubahan beban, perubahan unit-unit pembangkit, dan perubahan saluran transmisi. Didalam studi aliran daya, bus-bus terbagi menjadi 3 bagian, yaitu *Slack bus* atau *swing bus* atau bus referensi, *Voltage controller bus* atau bus generator (PV), dan *Load bus* atau bus beban (PQ), yang mana dapat didefinisikan sebagai berikut :

- ***Slack bus (Bus referensi)***

Pada bus ini, rating tegangan $|v|$ dan sudut fasa tegangan δ sudah ditentukan besarnya sementara daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) didapatkan dari perhitungan. Biasanya nilai $|v|$ adalah 1 pu, sedangkan sudut fasa tegangan bernilai nol, karena fasor tegangan dari bus dipakai sebagai referensi.

- ***Voltage controller bus (Bus generator)***

Pada bus ini hanya terdapat daya pembangkit dimana $|v|$ diatur menggunakan regulator tegangan (AVR) dan P diatur dengan governor. Sehingga untuk bus ini P dan $|v|$ diketahui. Sementara daya reaktif (Q) dan sudut fasa (δ) didapatkan dari hasil perhitungan.

- ***Load bus (Bus beban)***

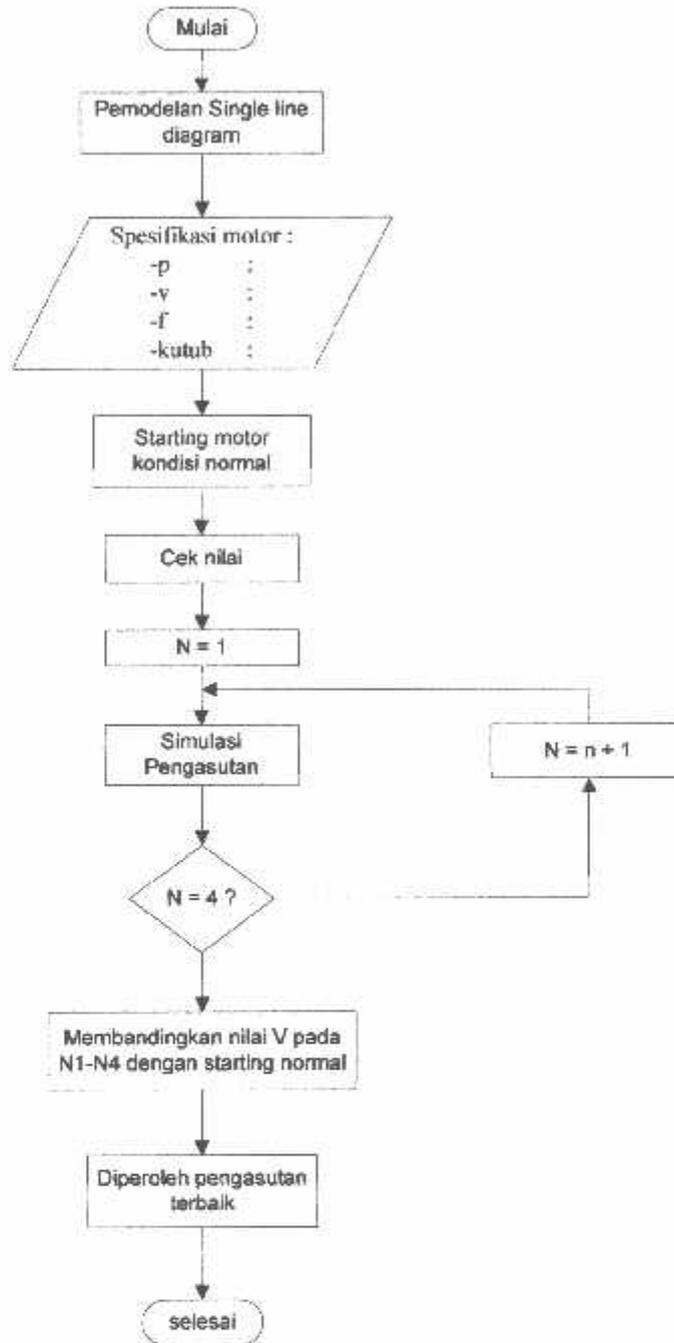
Pada bus ini hanya terdapat kebutuhan daya untuk memenuhi kebutuhan beban yang mana daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) sudah diketahui, sementara nilai tegangan $|v|$ dan sudut fasa (δ) berubah-ubah menurut kebutuhan beban. Oleh karena itu, nilai tegangan $|v|$ dan sudut fasa (δ) harus ditentukan berdasarkan hasil perhitungan.

3.6 *Algoritma*Program

3.6.1 *Algoritma* Pemecahan Masalah

1. Mulai
2. Pemodelan single line diagram
3. Input data
4. Starting kondisi normal
5. Cek nilai
6. $N=1$
7. Simulasi pengasutan
8. Apakah $N=4$ jika 'ya' lanjut ke tahap berikutnya, jika 'tidak' maka $N=n+1$ dan mulai simulasi pengasutan lagi
9. Membandingkan nilai V pada $N1-N4$ dengan starting normal
10. Diperoleh pengasutan terbaik
11. Selesai

3.6.2 Flowchart Pemecahan Masalah

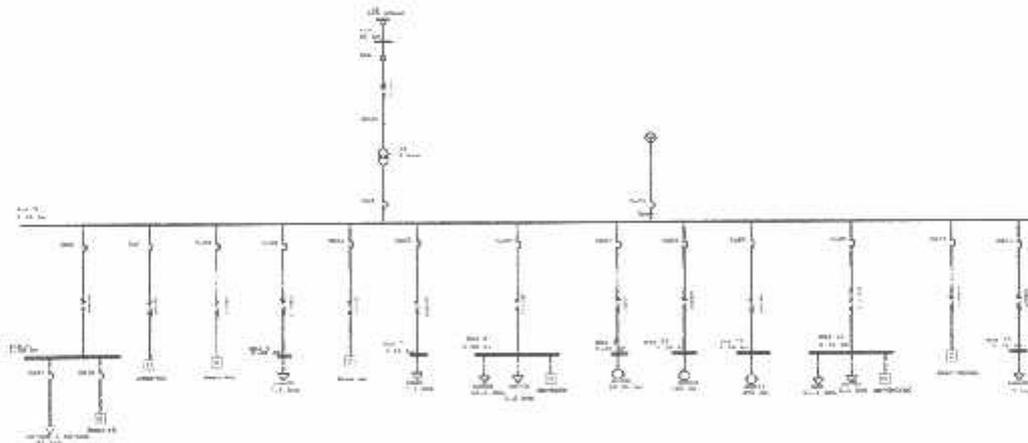


Gambar 3.7 Flowchart Menggunakan Simulasi Software ETAP Powerstation

BAB IV SIMULASI DAN ANALISIS HASIL

4.1 Pemodelan *Single Line Diagram* PT Mount Dream Indonesia Menggunakan *Software ETAP Power Station*

Membuat pemodelan *single line* diagram PT Mount Dream Indonesia menggunakan *software ETAP Power Station* merupakan langkah awal dalam melakukan analisa. Dimana dalam pemodelan ini akan dimasukkan semua data – data teknis yang meliputi data *name plate* motor didalam *menu induction machine editor program ETAP Powerstation*. Kemudian memilih peralatan *starting* motor yang akan digunakan untuk menganalisa. Dengan mensetting waktu *start* dan total simulasi pada menu motor *starting study case*, kemudian menjalankan program *Run Dinamic Motor Starting* yang terletak dipojok kanan atas dalam tampilan menu program.



Gambar 4.1 Pemodelan *Single Line Diagram* Simulasi PT Mount Dream Indonesia

4.2 Data Motor Induksi Pada PT. Mount Dream Indonesia

Data motor induksi 3 phasa yang diambil dari tempat observasi. Kemudian dari data motor induksi 3 phasa yang di dapat dimodelkan kedalam *Software ETAP PowerStation*. Kemudian menjalankan program *Run Dinamic Motor Starting* yang terletak dipojok kanan atas dalam tampilan menu program untuk mengetahui besarnya arus yang ditarik motor induksi 3 phasa pada waktu pengoperasian motor.

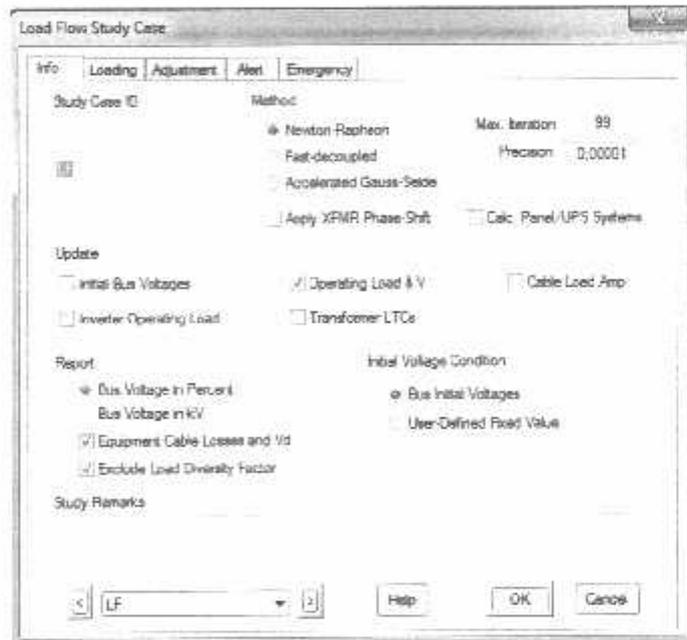
Tabel 4.1
Data Motor Induksi 3 phasa

Daya	250 KW	180 KW	110 KW
Tegangan	380 Volt	380 V	380 V
Arus	432 Ampere	321 A	215 A
Pole	4	4	4
Putaran	1488 rpm	1485 rpm	1485 rpm
Frekuensi	50 Hz	50 Hz	50 Hz



Gambar 4.2 Inputan Data Name Plate Motor kedalam *Software ETAP Powerstation*

Pada gambar 4.2 menampilkan inputan data *name plate* motor induksi dan pemasangan model kelas motor sehingga didapatkan karakteristik parameter motor induksi. Dalam pengoperasian motor juga dapat dipilih peralatan *starting* motor dari *start dev induction machine editor* dan juga kita dapat menentukan karakteristik torsi beban motor. Selanjutnya dilakukan *setting* waktu *start* dan durasi total simulasi waktu *running* program pada menu *motor starting study case* seperti yang terlihat pada gambar 4.3. Pada menu motor *starting study case* ini kita dapat mengoperasikan beberapa motor dalam pengasutan waktu yang berbeda-beda sehingga pada saat start, motor dapat berjalan sesuai dengan setting waktu yang telah ditentukan.



Gambar 4.3 Menu Tools Motor Starting Study Case

Kemudian setelah mensetting waktu pada *Motor Starting Study Case*, maka kita dapat menjalankan *starting* motor dengan menu *Run Dinamic Motor Starting*, dan untuk mengetahui hasil simulasi *starting* motor dengan mengklik *Plot Kurva Analisis Starting Motor* maka akan didapatkan hasil simulasi program *starting* motor untuk perbandingan pengasutan motor untuk mengetahui penurunan tegangan yang paling kecil.

4.3 Analisa Dan Hasil Simulasi

Analisa ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan penurunan tegangan (*voltage sag*) pada saat motor dijalankan tanpa menggunakan pengasutan motor.

Setelah memasukkan data motor dan pemodelan *one-line diagram* pada program *ETAP Powerstation* maka motor dijalankan dengan menggunakan fasilitas peralatan *starting* motor. Sehingga dapat mengamati karakteristik motor pada saat dijalankan. Kemudian dapat diamati pula hasil komputasi program pada menu *motor starting report manager*. Data hasil simulasi juga dapat diamati dengan mengklik gambar kurva simulasi *starting* motor.

4.3.1 Analisa Perhitungan *Starting* Motor

Dengan memasukkan data motor dan desain model kelas motor maka didapat perhitungan sebagai berikut :

$$I_{fl} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\theta} \dots\dots\dots(4-1)$$

$$I_{L-L} = \sqrt{3} \cdot I_{fl} \dots\dots\dots(4-2)$$

$$n_s = \frac{120 \cdot f}{p} \dots\dots\dots(4-3)$$

$$S = \frac{ns - nr}{ns} \dots\dots\dots(4-4)$$

$$\omega_{ms} = \frac{4 \cdot \pi \cdot f}{p} \dots\dots\dots(4-5)$$

$$I_{st} = \frac{Vt}{\sqrt{(R_s + R_r)^2 + (X_s + X_r)^2}} \dots\dots\dots(4-6)$$

$$T_{st} = \frac{3}{\omega_{ms}} \cdot \frac{380^2}{(R_s + R_r)^2 + (X_s + X_r)^2} \cdot \frac{R_r}{s} \dots\dots\dots(4-7)$$

4.3.2 Tampilan Hasil Simulasi *Starting* Motor

Tampilan hasil simulasi *starting* motor adalah untuk mengetahui besarnya arus yang ditarik motor dan penurunan tegangan pada saat motor dijalankan. Pada saat *start*, motor menarik arus yang cukup besar sehingga akan terjadi penurunan tegangan. Besarnya arus yang ditarik motor berkisar antara 4 sampai 7 kali arus beban penuh, akibat dari arus yang besar akan terjadi penurunan tegangan. Dalam simulasi ini akan dibagi menjadi beberapa metode pengasutan untuk mengetahui perbandingan penurunan tegangan (*voltage sag*) dengan

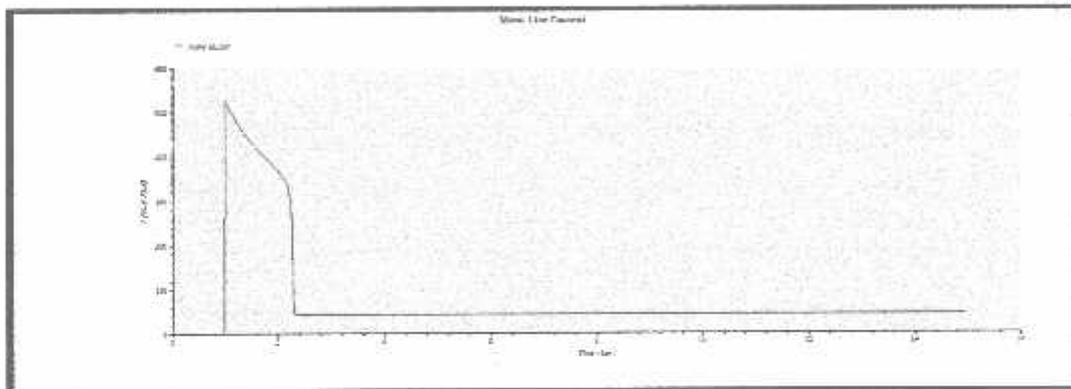
menggunakan 3 motor berkapasitas besar di PT Mount Dreams Indonesia karena penurunan tegangan saat pengasutan motor biasanya ditujukan untuk motor – motor yang memiliki kapasitas diatas 100 Hp.

4.4 Analisa Dan Hasil Simulasi Pengasutan Motor

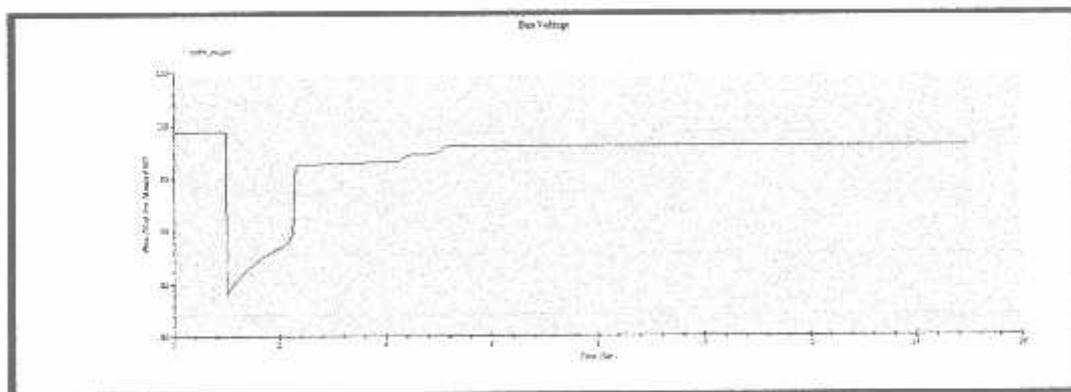
Untuk menurunkan arus *starting* dan meningkatkan tegangan pada saat pengoperasian motor adalah dengan menggunakan peralatan *starting* motor diantaranya adalah :

1. Pengasutan *Auto-Trafo*
2. Pengasutan *Star-Delta*
3. Pengasutan *Resistor*
4. Pengasutan *Reuctor*

4.4.1 Simulasi *starting* motor hydro pulper

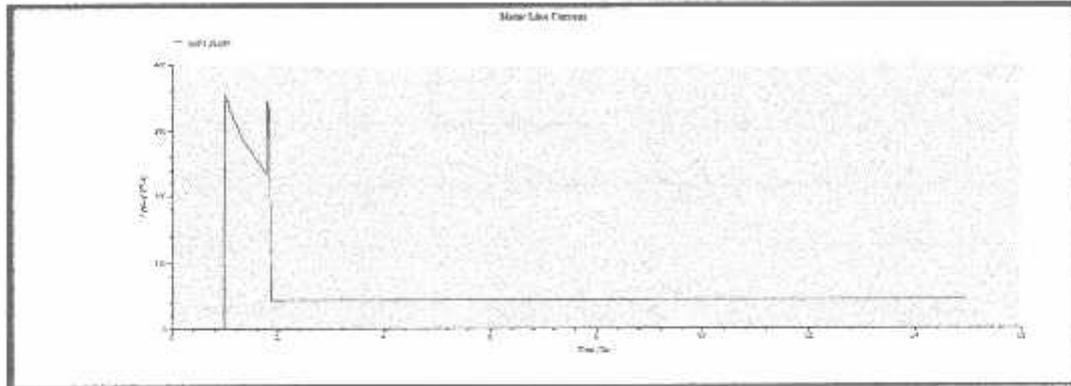


Gambar 4.4 Profil arus (A) pada saat tanpa pegasutan

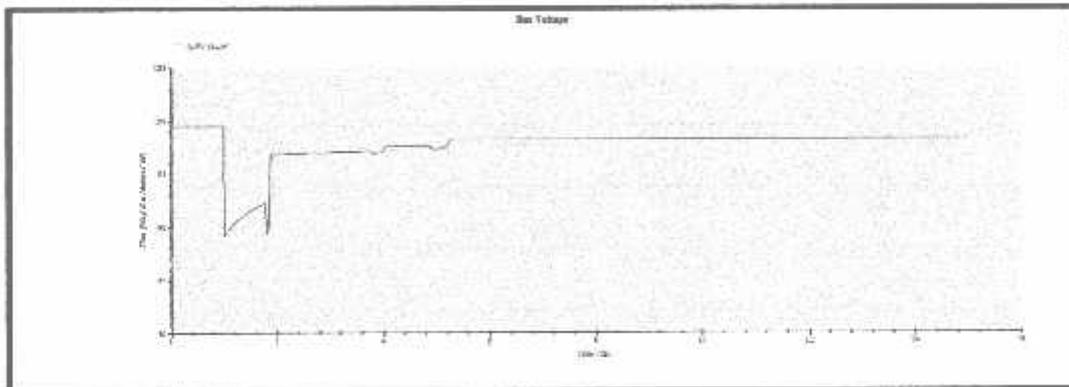


Gambar 4.5 Profil tegangan (kV) pada saat tanpa pegasutan

Dari hasil simulasi program *ETAP Powerstation*, pada *starting* motor pertama ditunjukkan oleh Gambar 4.4 arus motor besarnya pada saat tanpa pengasutan adalah 525,969%. Sedangkan pada Gambar 4.5 besarnya tegangan *starting* motor adalah 84,10%.

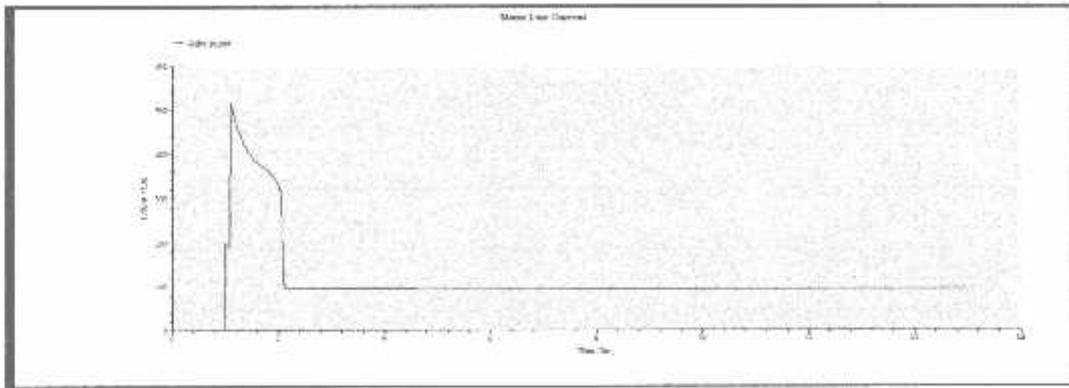


Gambar 4.6 Profil arus (A) pada saat pegasutan *Auto-Trafo*

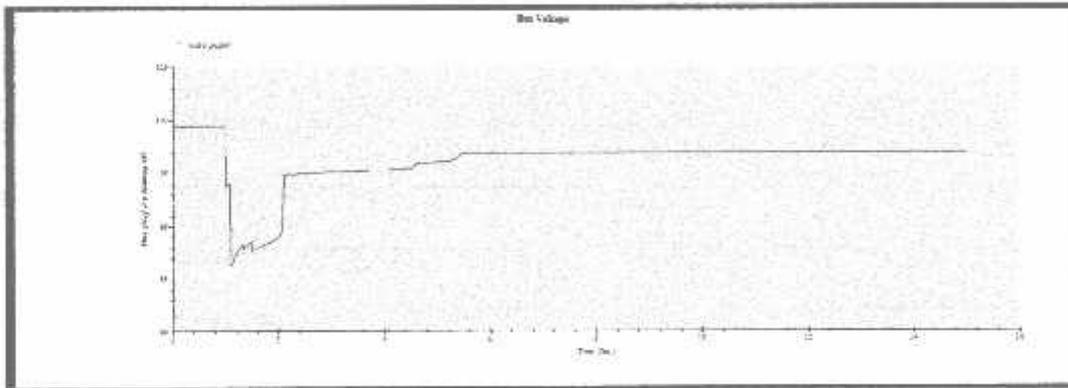


Gambar 4.7 Profil tegangan (kV) pada saat pegasutan *Auto-Trafo*

Dari hasil simulasi program *ETAP Powerstation*, pada *starting* motor Gambar 4.6 arus motor besarnya pada saat pengasutan *Auto-Trafo* adalah 356,595%. Sedangkan pada Gambar 4.7 besarnya tegangan *starting* motor adalah 89,09%.

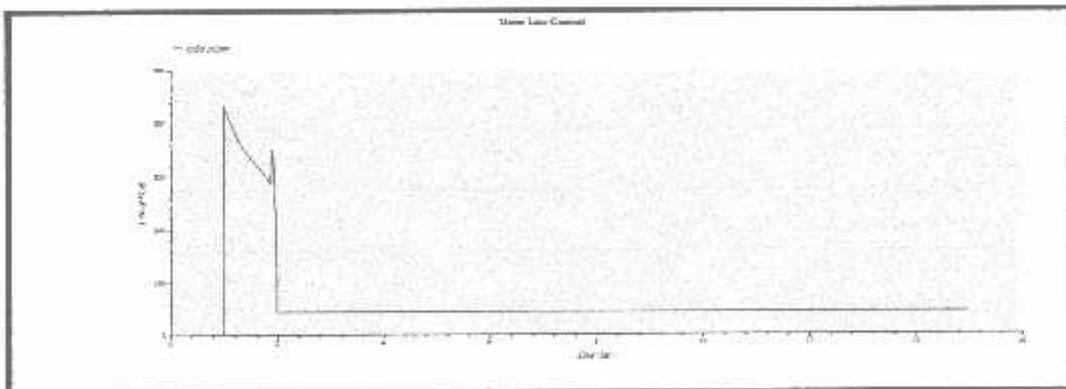


Gambar 4.8 Profil arus (A) pada saat pengasutan *Star-Delta*

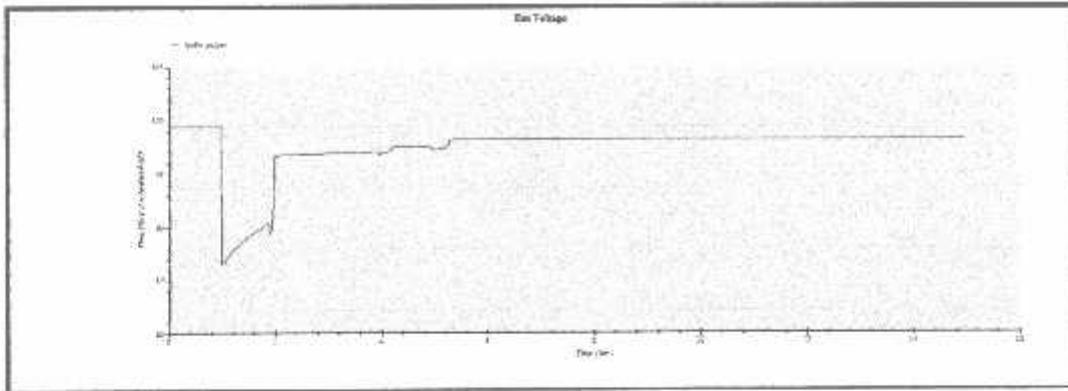


Gambar 4.9 Profil tegangan (kV) pada saat pengasutan *Star-Delta*

Dari hasil simulasi program *ETAP Powerstation*, pada *starting* motor Gambar 4.8 arus motor besarnya pada saat pengasutan *Star-Delta* adalah 513,64%. Sedangkan pada Gambar 4.9 besarnya tegangan *starting* motor adalah 86,16%.

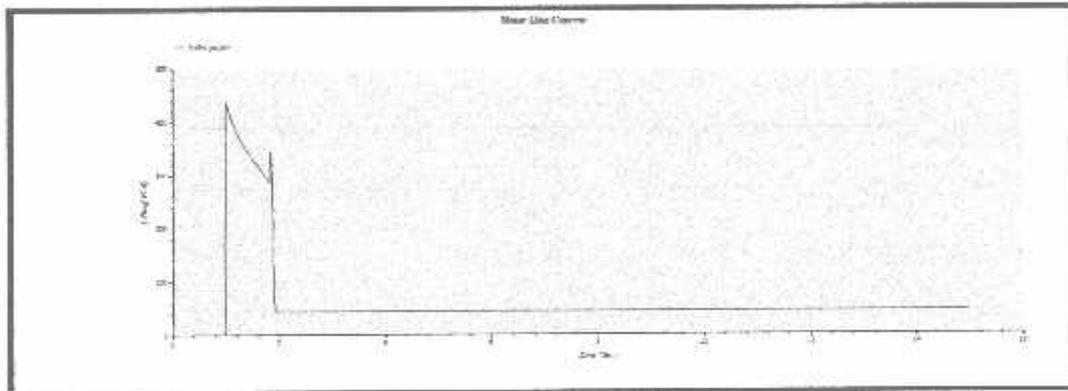


Gambar 4.10 Profil arus (A) pada saat pengasutan *Resistor*

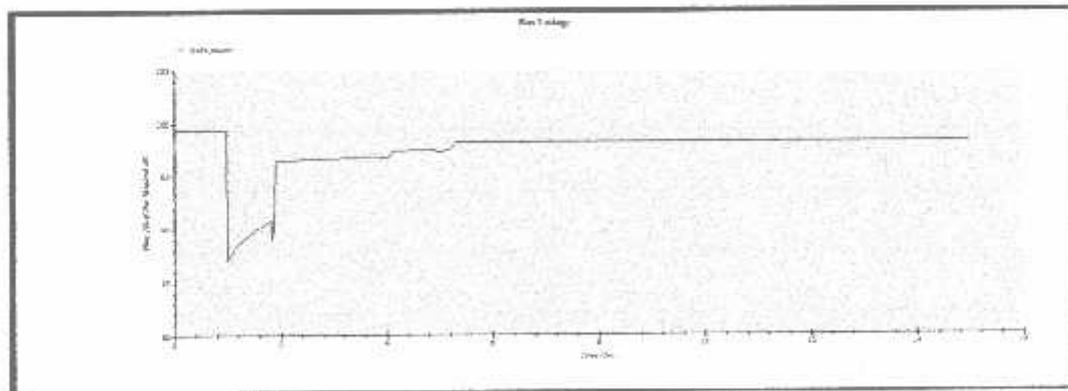


Gambar 4.11 Profil tegangan (kV) pada saat pegasutan *Resistor*

Dari hasil simulasi program *ETAP Powerstation*, pada *starting* motor Gambar 4.10 arus motor besarnya pada saat pegasutan *Resistor* adalah 432,26%. Sedangkan pada Gambar 4.11 besarnya tegangan *starting* motor adalah 86,40%.



Gambar 4.12 Profil arus (A) pada saat pegasutan *Reactor*



Gambar 4.13 Profil tegangan (kV) pada saat pegasutan *Reactor*

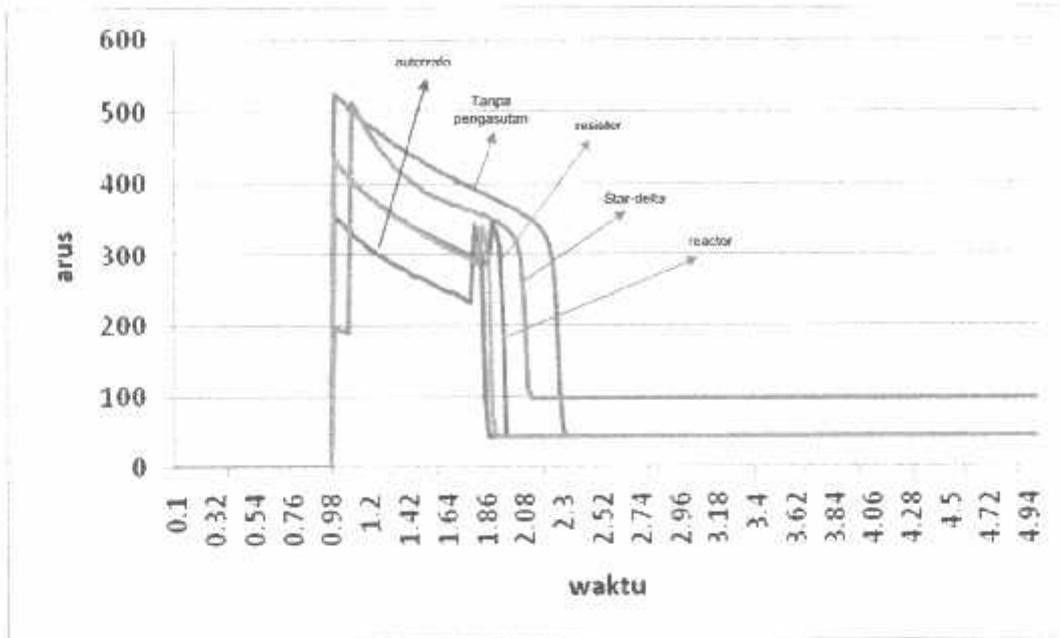
Dari hasil simulasi program *ETAP Powerstation*, pada *starting* motor Gambar 4.16 arus motor besarnya pada saat pengasutan *Reactor* adalah 435,46%. Sedangkan pada Gambar 4.17 besarnya tegangan *starting* motor adalah 87,04%.

4.5 Hasil komputasi peralatan *starting* motor menggunakan software *ETAP Powerstation*

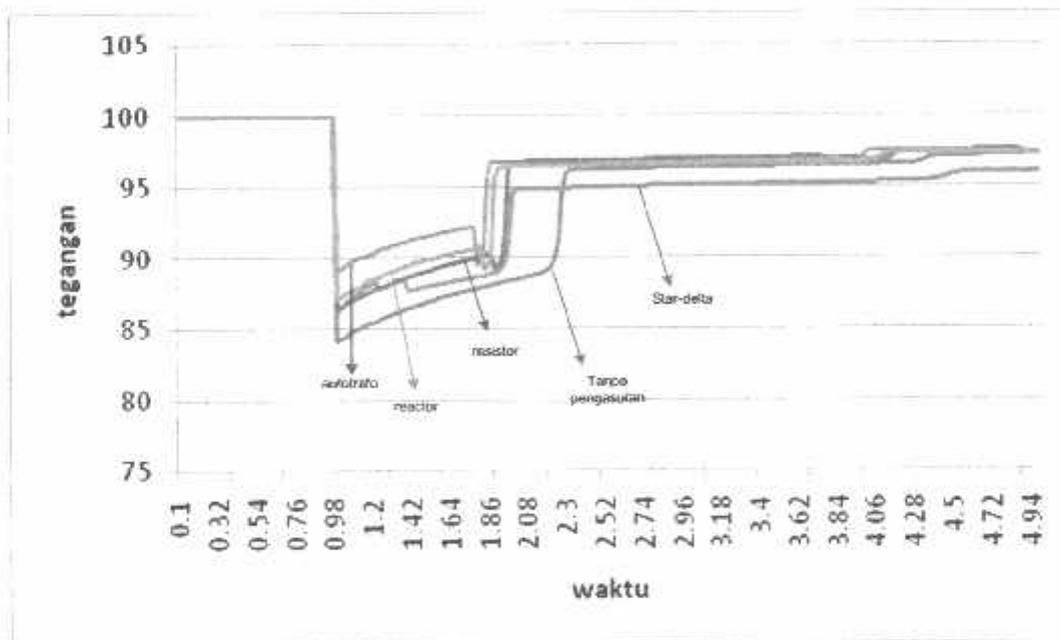
Dari hasil komputasi software *ETAP Powerstation*, dalam menu motor *starting study case* dengan mensetting waktu *start* $t = 1$ s, total simulasi $t = 15$ s dan merrunning program maka didapatkan hasil yang terlihat pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Hasil analisa komputasi simulasi peralatan *starting* motor

Data Hasil Komputasi ETAP	Arus % dari FLA (A)	Tegangan % dari Vbus (V)
Starting tanpa pengasutan	525,969	84,10
Pengasutan Auto-Trafo	356,595	89,09
Pengasutan Star-Delta	513,64	86,16
Pengasutan Resistor	432,26	86,40
Pengasutan Reactor	435,46	87,04



Gambar 4.14 Perbandingan grafik arus (A) pengasutan motor



Gambar 4.15 Perbandingan grafik tegangan (V) pengasutan motor

4.6 Analisa perhitungan hasil metode pengasutan motor untuk mengetahui penurunan tegangan (*voltage sag*)

4.6.1 Analisa perhitungan hasil metode tanpa pengasutan (dol)

$$I_{st} = I_{st} \% \times FLA$$

$$V_{bus} = V_{bus} \% \times V_m$$

Diketahui : FLA=432 A, $V_m=380$ V

$$I_{st} = \frac{525,969}{100} \times 432 = 2272,18 \text{ A}$$

$$V_{bus} = \frac{64,1}{100} \times 380 = 319,58 \text{ V}$$

4.6.2 Analisa perhitungan hasil metode pengasutan autotrafo

$$I_{st} = I_{st} \% \times FLA$$

$$V_{bus} = V_{bus} \% \times V_m$$

Diketahui : FLA=432 A, $V_m=380$ V

$$I_{st} = \frac{356,595}{100} \times 432 = 1540,49 \text{ A}$$

$$V_{bus} = \frac{89,09}{100} \times 380 = 338,5 \text{ V}$$

4.6.3 Analisa perhitungan hasil metode pengasutan star-delta

$$I_{st} = I_{st} \% \times FLA$$

$$V_{bus} = V_{bus} \% \times V_m$$

Diketahui : FLA=432 A, $V_m=380$ V

$$I_{st} = \frac{513,64}{100} \times 432 = 2218,92 \text{ A}$$

$$V_{bus} = \frac{86,16}{100} \times 380 = 327,4 \text{ V}$$

4.6.4 Analisa perhitungan hasil metode pengasutan resistor

$$I_{st} = I_{st} \% \times FLA$$

$$V_{bus} = V_{bus} \% \times V_m$$

Diketahui : FLA=432 A, $V_m=380$ V

$$I_{st} = \frac{432,26}{100} \times 432 = 1867,36 \text{ A}$$

$$V_{bus} = \frac{86,40}{100} \times 380 = 328,32 \text{ V}$$

4.6.5 Analisa perhitungan hasil metode pengasutan reactor

$$I_{st} = I_{st} \% \times FLA$$

$$V_{bus} = V_{bus} \% \times V_m$$

Diketahui : FLA=432 A, $V_m=380$ V

$$I_{st} = \frac{435,46}{100} \times 432 = 1881,18A$$

$$V_{bus} = \frac{87,04}{100} \times 380 = 330,75 V$$

Tabel 4.3 Analisa hasil perhitungan untuk mengetahui penurunan tegangan (voltage sag)

Hasil perhitungan	I_{st} (A)	Tegangan		ΔV (V)
		Nominal (V)	Starting (V)	
Tanpa Pengasutan	2272,18	380	319	61
Pengasutan Autotrafo	1540,49	380	338	42
Pengasutan Star-Delta	2218,92	380	327	53
Pengasutan Resistor	1867,36	380	328	52
Pengasutan Reactor	1881,18	380	330	50

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan percobaan yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan :

- a. Perbandingan penurunan tegangan sistem sebelum dan sesudah dilakukan pengasutan : untuk tegangan sebelum dilakukan pengasutan pada sistem yaitu 380 V dan setelah dilakukan pengasutan dengan metode *Auto-Trafo* tegangan pada salah satu motor dengan kapasitas 250 kW menjadi : 338 V. Untuk pengasutan *Star-Delta* : Tegangan menjadi : 327 V. Pengasutan *Resistor* : 328 V. Dan pengasutan *Reactor* : 330 V.
- b. Dari berbagai perbandingan pengasutan motor besarnya penurunan tegangan (*voltage sag*) rata- rata terkecil terjadi pada pengasutan motor dengan metode *Auto-Trafo* karena metode ini dapat mereduksi setengah dari tegangan normal dengan demikian metode ini merupakan alternatif yang terbaik untuk meminimalisir *voltage sag* yang terjadi pada saat *starting* motor.

5.2 Saran

Pada PT Mount Dreams paling tepat menggunakan metode pengasutan motor *Auto-Trafo*. Karena metode ini merupakan alternatif yang terbaik untuk meminimalisir *voltage sag* yang terjadi pada sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Arindya, Radita.(2013). “ Penggunaan dan Pengaturan Motor Listrik” Penerbit Graha Ilmu.
- [2]. Badruzzama, Yuskan. “ Pengasutan konvensional motor induksi tiga fasa rotor sangkar tupai” semarang, jurusan teknik elektro.
- [3]. Chakrasali R.I., Sheelavant V.R., Nagaraja H.N. September (2011). *A Novel method of Starting Induction Motor: A Comparative Study*.International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS) Vol.1.
- [4]. Chapman, Stepen J, “*Elektric Machinery Fundamentals*”, Third Edition, McGraw Hill Companies, New York, 1999.
- [5] Goh, H.H., Looi, M.S., and Kok, B.C. March (2009). *Comparison between Direct-On-Line, Star-Delta and Auto-transformer Induction Motor Starting Method in Terms of Power Quality*. Proceedings of the International Multi Conference of Engineers and Computer Scientists 2009 Vol II IMECS.
- [6] Malik, Muh. Nasir. 2009. “ Perbandingan kinerja motor induksi tiga fasa” Media Elektrik, volume 4 nomer 2.
- [7]. Jimenez, Pedro. and Vera, Luiz. 2006. “*Motor Starting Study for Large Motor*”. Case: VALCOR PDVSA Project, Venezuela: IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition Latin Amerika.
- [8] S.N. Singh, D. Saxena, K.S. Verma. “ Power quality event classification : on overview and key issue” international jurnal of engineering, science and technology vol.2,No.3.2010,pp.186.199
- [9]. Laporan Penelitian Ismujianto; *Arus starting motor induksi metoda Extrapolasi*; Politeknik Negeri Jakarta 2002
- [10].Ismujianto, Isdawimah; *Buku ajar Mesin Listrik I&2*; Politeknik Negeri Jakarta 2007.
- [11].Bill Drury; *The Control Technicques Drives and Controls Handbook*; IEE 2001

LAMPIRAN



**BERITA ACARA SEMINAR PROPOSAL SKRIPSI
 PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S1**

KONSENTRASI		T. Energi Listrik S1	
1.	Nama Mahasiswa	Mahendra Sukma Aji	NIM 1212003
2.	Keterangan	Tanggal	Waktu
	Pelaksanaan		Tempat / Ruang
Spesifikasi Judul (beri tanda silang *)			
3.	a. Sistem Tenaga Elektrik	e. Embedded System	i. Sistem Informasi
	b. Konversi Energi	f. Antar Muka	j. Jaringan Komputer
	c. Sistem Kendali	g. Elektronika Telekomunikasi	k. Web
	d. Tegangan Tinggi	h. Elektronika Instrumentasi	l. Algoritma Cerdas
4.	Judul Proposal yang diseminarkan Mahasiswa	Analisis Kedip tegangan (voltage sag) akibat pengasutan motor induksi dengan berbagai metode pengasutan	
5.	Perubahan Judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian	
6.	Catatan :		
		
7.	Catatan :		
		
Persetujuan Judul Skripsi			
Disetujui, Dosen Keahlian I		Disetujui, Dosen Keahlian II	
			
Mengetahui, Ketua Jurusan		Disetujui, Calon Dosen Pembimbing	
		Pembimbing I	Pembimbing II
M. Ibrahim Ashari, ST, MT NIP. P. 1030100358		Irene Budi S., ST., MT, Dr.	 M. Abdul Hamid, Jr., MT

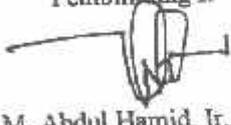
Keterangan :

*) dilingkari a, b, c, sesuai dengan bidang keahlian

Form S-3c



**BERITA ACARA SEMINAR PROGRESS SKRIPSI
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S1**

KONSENTRASI		T. Energi Listrik S1		
1.	Nama Mahasiswa	Mahendra Sukma Aji	NIM	1212003
2.	Keterangan	Tanggal	Waktu	Tempat / Ruang
	Pelaksanaan			
3.	Judul Skripsi	Analisis Kedip tegangan (voltage sag) akibat pengasutan motor induksi dengan berbagai metode pengasutan		
4.	Perubahan Judul	Akibat "pengasutan" langsung starting		
5.	Catatan :	<p>- Perbaiki flowchart pd proses yg dilakukan kmn mengulangi ketas koping</p> <p>- Mengetahui letak voltage sag akibat starting motor akibat no tegangan</p> <p>- Hubungan antara arus starting dgn voltage sag : perumusan belahan 20%</p> <p>- Simulasi kapasitas motor paling besar ke kecil serta nilai dan kelas 2 motor kapasitas besar bekerja bersamaan</p>		
6.	Mengetahui, Ketua Jurusan	Disetujui, Dosen Pembimbing		
		Pembimbing I	Pembimbing II	
	 M. Ibrahim Ashari, ST, MT	 Irrine Budi S., ST., MT, Dr.	 M. Abdul Hamid, Ir., MT	



MONITORING BIMBINGAN SKRIPSI
SEMESTER GANJIL, TAHUN AKADEMIK 2016-2017

Nama : Mahendra Sukma Aji
Nim : 1212003
Masa Bimbingan : Semester Ganjil 2016 – 2017
Judul : Analisis Kedip Tegangan (Voltage Sag) Akibat Starting Motor Induksi Dengan Berbagai Metode Pengasutan

No.	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1	07-11-2016	Perbaikan pendahuluan	
2	10-11-2016	Konsultasi landasan teori	
3	14-11-2016	Revisi landasan teori	
4	16-11-2016	Revisi flowchart	
5	17-11-2016	Konsultasi program	
6	21-11-2016	Acc makalah seminar progres	
7	03-12-2016	Konsultasi program, tabel simulasi	
8	13-12-2016	Acc makalah seminar hasil	
9	03-01-2017	Perbaiki flowchart dan ditambahkan grafik penurunan tegangan	
10	10-01-2017	Perbaiki abstrak	
11	11-01-2017	Acc laporan skripsi	

Malang, Januari 2017

Dosen Pembimbing

Dr. Irine Budi Sulistiawati, ST, MT
NIP.197706152005012002



MONITORING BIMBINGAN SKRIPSI
SEMESTER GANJIL TAHUN AKADEMIK 2016-2017

Nama : Mahendra Sukma Aji
Nim : 1212003
Masa Bimbingan : Semester Ganjil 2016 – 2017
Judul : Analisis Kedip Tegangan (Voltage Sag) Akibat Starting Motor Induksi Dengan Berbagai Metode Pengasutan

No.	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1	07-11-2016	Perbaikan pendahuluan	af
2	10-11-2016	Konsultasi landasan teori	af
3	14-11-2016	Revisi landasan teori	af
4	16-11-2016	Revisi flowchart	af
5	17-11-2016	Konsultasi program	af
6	21-11-2016	Acc makalah seminar progres	af
7	03-12-2016	Konsultasi program, tabel simulasi	af
8	13-12-2016	Acc makalah seminar hasil	af
9	03-01-2017	Perbaiki flowchart dan ditambahkan grafik penurunan tegangan	af
10	07-01-2017	Acc laporan skripsi	af

Malang, Januari 2017

Dosen Pembimbing

Ir. Abdul Hamid, MT
NIP. Y. 1018800188

Form.S-4b



**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

Nama : MAHENDRA SUKMA AJI
NIM : 1212003
Program Studi : TEKNIK ELEKTRO S-1
Konsentrasi : TEKNIK ENERGI LISTRIK
Judul Skripsi : ANALISIS KEDIP TEGANGAN (VOLTAGE SAG)
AKIBAT STARTING MOTOR INDUKSI DENGAN
BERBAGAI METODE PENGASUTSAN

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

Hari : Rabu
Tanggal : 18 Januari 2017
Dengan Nilai : 72,925 (B)

Panitia Ujian Skripsi

Ketua Majelis Penguji

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

Sekretaris Majelis Penguji

Dr. Eng. I Komang Somawirata, ST, MT
NIP.P. 1030100361

Anggota Penguji

Penguji I

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

Penguji II

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





PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

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

Hari/Tanggal : Rabu, 18 Januari 2017

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

Nama : MAHENDRA SUKMA AJI
NIM : 1212003
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
Judul Skripsi : Analisis Kedip Tegangan (Voltage Sag) Akibat Starting Motor Induksi Dengan Berbagai Metode Pengasutan

No	Materi Perbaikan	Ket
1.	Jelaskan secara ilmiah (parameter sistem, P,V,I) dengan adanya pengasutan motor	✓
2.	Berapa nilai resistor, reactor pengasutan	✓
3.	Pada saat starting Y-Δ berapa tegangan yang masuk stator	✓

Dosen Penguji I

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

Mengetahui :

Dosen Pembimbing I

Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST, MT
NIP.197706152005012002

Dosen Pembimbing II

Ir. Abdul Hamid, MT
NIP.Y.1018800188



PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

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

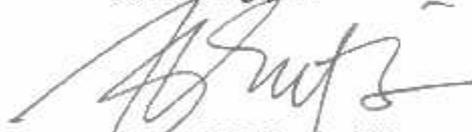
Hari/Tanggal : Rabu, 18 Januari 2017

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

Nama : MAHENDRA SUKMA AJI
NIM : 1212003
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
Judul Skripsi : **Analisis Kedip Tegangan (Voltage Sag) Akibat Starting Motor Induksi Dengan Berbagai Metode Pengasutan**

No	Materi Perbaikan	Ket
1.	Abstrak tidak harus menyebut perusahaannya	<i>[Signature]</i>
2.	Diperbaiki istilah voltage sag (kedip tegangan) tidak sama dengan penurunan tegangan	<i>[Signature]</i>
3.	Alasan memilih metode-metode pengasutan	<i>[Signature]</i>

Dosen Penguji II


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

Mengetahui :

Dosen Pembimbing I


Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST, MT
NIP.197706152005012002

Dosen Pembimbing II


Ir. Abdul Hamid, MT
NIP.Y.1018800188

Biografi Penulis



Nama lengkap penulis yaitu Mahendra Sukma Aji lahir pada tanggal 28 Oktober 1994 di Kupang, Nusa Tenggara Timur. Merupakan anak ke-2 dari 3 bersaudara dari pasangan Bapak Slamet riadi dan Ibu Rini Kustilowati. Penulis berkebangsaan Indonesia dan beragama Islam. Kini penulis bertempat tinggal di Jl. Bangsa simp VI. Rt.19 / Rw.05 Dusun Krajan, Desa Jatiguwi, Kecamatan Sumberpucung, Kabupaten Malang, Provinsi Jawa Timur.

Adapun riwayat pendidikan penulis, yaitu pada tahun 1999 lulus dari TK Dharma wanita Sidoarjo.

Kemudian melanjutkan di SDN 04 Sumberpucung-Malang dan lulus pada tahun 2006. Pertengahan tahun 2009 lulus dari SMP Muhammadiyah 01 Sumberpucung-Malang dan melanjutkan pendidikan ke SMK Muhammadiyah 01 Kepanjen-Malang Jurusan Teknik Otomasi Industri lulus tahun 2012. Setelah itu kuliah di Institut Teknologi Nasional Malang Jurusan Teknik Elektro S-1. Penulis telah menyelesaikan skripsi yang berjudul "Analisis Kedip Tegangan (*Voltage Sag*) Akibat *Starting* Motor Induksi Dengan Berbagai Metode Pengasutan".
