

# UPAYA MENGATASI PENURUNAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA AKIBAT TEGANGAN SUMBER TIDAK SEIMBANG

Rahmat Hidayat <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Banjarmasin

## Ringkasan

*Indonesia sebagai negara industri baru dan mulai bergerak maju, sangat besar membutuhkan energi listrik. Kebutuhan yang terus bertambah ini yang tidak disertai penambahan supply baru menjadikan harga energi listrik menjadi mahal. Tegangan sumber yang tidak seimbang menyebabkan kecepatan motor induksi 3 fasa mengalami penurunan penurunan rata-rata 24%, berarti kerugian untuk mengatasi masalah ini energi listrik dialirkan melalui stabilisator tegangan sebe-lum keperalatan industri.*

**Kata Kunci** : Tegangan sumber tidak seimbang, kecepatan motor induksi menurun, stabilizer.

## 1. PENDAHULUAN

Negara-negara industri sangatlah membutuhkan adanya tenaga listrik, demikian juga untuk negara Indonesia yang baru memasuki era industrialisasi. Oleh sebab itu pemanfaatan sumber-sumber daya alam yang ada di Indonesia haruslah dimanfaatkan semaksimal mungkin, misalnya: batubara, minyak bumi, gas alam atau panas bumi.

Penggunaan tenaga manusia secara murah dan luas juga merupakan salah satu tujuan pokok dari negara industri, oleh sebab itu dengan semakin berkembangnya zaman penggunaan tenaga manusia semakin dipersempit.

Didalam industri tenaga listrik sangat diperlukan untuk menggerakkan motor-motor listrik dimana motor-motor listrik tersebut menggerakkan alat-alat listrik, misalnya: untuk memindahkan barang dari satu tempat ketempat lainnya dengan melalui ban-ban berjalan. Sedangkan pada alat-alat rumah tangga dapat digunakan mesin pendingin, alat pemanas dan sebagainya.

Dibandingkan dengan jenis penggerak lainnya motor penggerak ini mempunyai efisiensi yang tinggi, perawatan tidak terlalu sulit dan mempunyai kemampuan kerja yang tinggi. Motor induksi merupakan motor yang paling luas digunakan dalam industri.

Pemanfaatan motor induksi tiga fasa pada industri-industri banyak sekali mengalami problem, antara lain pada saat motor induksi bekerja dimanana dalam keadaan tertentu tegangan sumber tidak seimbang mengakibatkan kecepatan motor turun bila beban dipasang dan tidak berputar pada kecepatan nominal, sehingga motor dapat menjadi panas berlebihan atau

berbunyi. Apabila penurunan kecepatan motor terlalu besar maka dapat menyebabkan motor terbakar. Tegangan sumber tidak seimbang dapat disebabkan oleh beban tidak seimbang pada sistem atau adanya gangguan saluran seperti kebocoran arus.

Motor yang berputar pada kecepatan nominal adalah motor yang bekerja sesuai dengan disain dan konstruksi yang telah ditentukan oleh pabrik. Bagaimanakah tindakan mengatasi agar kecepatan nominal motor tidak turun jauh dari kecepatan nominalnya. Kecepatan yang jauh dari kecepatan nominalnya dapat menghambat produksi atau mengurangi dari kualitas produknya.

Adapun perumusan masalah dalam penelitian ini adalah seberapa besar pengaruh putaran motor induksi akibat tegangan sumber tidak seimbang, dan upaya mengatasi agar motor dapat bekerja nominal.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh putaran motor induksi akibat tegangan sumber tidak seimbang dan upaya mengatasinya.

Manfaat dari penelitian yang dilakukan ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat digunakan sebagai salah satu bahan masukan atau pertimbangan bagi industri apabila tegangan sumber tidak seimbang yang berpengaruh terhadap putaran motor yang mereka gunakan dan upaya mengatasinya.
2. Untuk memberi informasi kepada pembaca yang berminat pada dunia motor listrik khususnya motor induksi tiga fasa.
3. Sebagai bahan pertimbangan bagi peneliti untuk bahan pertimbangan penelitian lebih lanjut.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### Mesin Asinkron

Mesin asinkron bisa juga disebut motor induksi yaitu mesin arus bolak-balik yang prinsip kerjanya berdasarkan interaksi elektromagnetik antara medan magnet putar yang dihasilkan oleh catu arus tiga fasa dari suatu sumber tiga fasa pada belitan stator dan arus yang diinduksikan pada belitan rotor apabila konduktornya dipotong oleh medan magnet putar.

### Operasi Sebagai Motor

Pada saat stator dihubungkan dengan catu daya tiga fasa dan dianggap rangkaian rotor dalam keadaan terbuka, mesin asinkron mirip dengan sebuah transformator beban nol, dimana kecepatan rotor mesin asinkron sama dengan nol ( $n_r = 0$ ).

Medan magnet stator berputar terhadap rotor dengan kecepatan  $n_s$  dan pada belitan rotor diinduksikan e.m.f.  $E_2$  yang mempunyai frekuensi  $f_1$  yang arahnya ditetapkan oleh hukum tangan kanan.



Gambar 1. Prinsip Operasi Mesin Asinkron sebagai Motor

Apabila rotor merupakan rangkaian yang tertutup, arus  $I_2$  akan mengalir pada belitan rotor yang searah dengan e.m.f.  $E_2$ .

Interaksi antara fluks yang dihasilkan oleh arus  $I_2$  dengan fluks stator akan menghasilkan resultan seperti gambar 1.

Pada keadaan ini  $F_0$  yang bekerja dikerjakan pada konduktor menghasilkan torsi resultan  $M$ . Jika torsi ini cukup untuk mengatasi torsi pengereman pada poros, rotor akan mulai berputar dan menghasilkan putaran yang tertentu ( $n_r$ ).

Pada keadaan ini energi listrik yang dicatu pada stator dari suatu sumber daya akan berubah kedalam energi mekanik dan mesin akan beroperasi sebagai motor. Kecepatan rotor akan bergantung dari beban. Pada keadaan beban nol  $n_r$  mendekati  $n_s$ , tetapi tidak akan sama. Apabila  $n_r = n_s$ , mesin tidak akan beroperasi sebagai motor. Mesin asinkron akan beroperasi sebagai motor dengan jangkauan dari  $n_r = 0$  sampai  $n_r = n_s$  yaitu pada  $S = +1$  sampai  $S = 0$ .

### Prinsip Kerja Motor Induksi

Belitan stator dihubungkan dengan sumber fasa banyak yang seimbang dan rotor terhubung singkat akan terbangkit arus, akibat induksi dari stator.

Prinsip kerja dari motor induksi adalah sebagai berikut, sumber yang simetris dari belitan stator yang mempunyai  $n_s$  radian per sekon, akan menimbulkan suatu medan magnet di dalam mesin yang berputar dengan kecepatan sudut  $\left(\frac{2}{P}\right) n_s$  radian per sekon. Medan ini akan menginduksikan tegangan pada belitan rotor, sedangkan frekuensi  $f_2$  dari tegangan-tegangan terinduksi ini sangat tergantung pada kecepatan relatif antara medan magnet dan rotor.

Arus yang mengalir dalam setiap belitan rotor adalah setara dengan tegangan terinduksi dibagi dengan impedansi total rotor dengan frekuensi  $f_2$  setiap belitan dan beberapa rangkaian tambahan yang lain.

Bersama-sama dengan medan magnet arus rotor ini akan menghasilkan torsi yang nantinya akan memutar beban. Dengan adanya torsi ini maka mesin akan mendapat percepatan yang sesuai dengan arah medan putar. Pada saat kecepatan rotor ( $n_r$ ) mencapai kecepatan  $n_s = \left(\frac{2}{P}\right) f_1$  dari medan atau  $n_s = n_r$ , maka frekuensi rotor akan menjadi nol.

Untuk memperbesar torsi sebuah motor, rotor harus berputar lebih perlahan dari putaran medan magnet, karena akan menyebabkan adanya slip yang terlambat terhadap medan. Slip dipergunakan untuk menunjukkan adanya slip per unit sinkron atau kecepatan medan putar  $n_r$ . Jadi dapat dituliskan:

$$S = \frac{\left(\frac{2}{P}\right) f_1 - n_r}{\left(\frac{2}{P}\right) f_1} = \frac{n_s - n_r}{n_s} \text{ pu} \quad (1)$$

Berdasarkan persamaan  $F = B \cdot I \cdot L$  maka gaya  $F = 0$  sehingga putaran rotor menurun atau  $n_r < n_s$ . Penurunan jumlah putaran rotor mengakibatkan terjadinya perpotongan antara fluks magnet dengan lilitan rotor sehingga pada lilitan rotor terbentuk ggl induksi, mengalir arus rotor  $I_2$  dan timbul gaya  $F$  sehingga motor berputar lebih cepat lagi.

Peristiwa ini terjadi secara terus-menerus dan hal demikian mengakibatkan terjadinya slip motor (S). Slip motor dapat dinyatakan :

$$\% \text{ Slip} = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\% \quad (2)$$

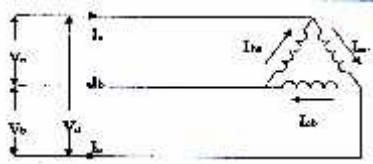
### Hubungan Motor Induksi

#### a. Hubungan Delta

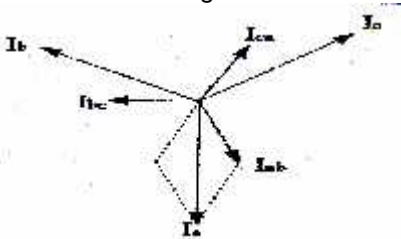
Tegangan motor induksi tiga fasa dengan kumparan yang dihubungkan secara delta, yaitu  $V_a, V_b$  dan  $V_c$  masing-masing berbeda fasa  $120^\circ$   
 $V_a + V_b + V_c = 0$

Untuk beban yang seimbang:

$$\begin{aligned} I_a &= I_{ac} - I_{ba} \\ I_b &= I_{ba} - I_{cb} \\ I_c &= I_{cb} - I_{ac} \end{aligned}$$



Gambar 2. Rangkaian Hubungan Delta Motor Induksi Tiga Fasa



Gambar 3. Vektor Diagram Hubungan Delta Motor Induksi Tiga Fasa

Dari vektor diagram (Gambar 3) diketahui bahwa adanya arus  $I_a$  (arus jala-jala) adalah  $\sqrt{3} \times I_{ac}$  (arus fasa). Tegangan jala-jala dalam hubungan delta sama dengan tegangan fasanya.  $V_f = V_L$ . Jadi, VA hubungan delta =  $V_f \cdot I_f = 3 V_L \cdot \frac{I_L}{\sqrt{3}} = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L$

**b. Hubungan Bintang**

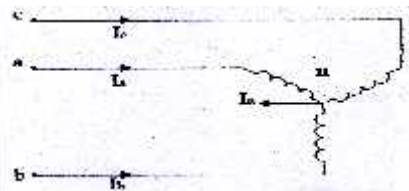
Arus motor induksi tiga fasa dengan kumparan yang dihubungkan secara bintang yaitu:  $I_a, I_b$  dan  $I_c$  masing-masing ber-beda fasa  $120^\circ$ . Untuk beban yang seimbang:

$$I_n = I_a + I_b + I_c$$

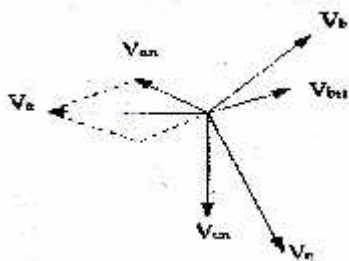
$$V_a = V_{an} + V_{bn} = V_{an} - V_{bn}$$

$$V_b = V_{bn} - V_{cn}$$

$$V_c = V_{cn} - V_{an}$$



Gambar 4. Rangkaian Hubungan Bintang Motor Induksi Tiga Fasa



Gambar 5. Vektor Diagram Hubungan Bintang Motor Induksi Tiga Fasa

Dari gambar 4 dan 5 diketahui bahwa untuk hubungan bintang berlaku hubungan:  $V_a = \sqrt{3} V_{an}$

atau  $V_f = \frac{V_L}{\sqrt{3}}$  lalu  $I_f = I_L$

Jadi, VA hubungan bintang =  $3 V_f I_f = 3 \left( \frac{V_L}{\sqrt{3}} \right) I_L = \sqrt{3} V_L \cdot I_L$

**Torsi Motor**

Motor induksi dapat dianggap sebagai suatu transformator yang dibebani dengan beban sebesar  $\frac{R_2'}{S}$ . Apabila arus  $I_0$  dianggap kecil, maka

$$I_1 \approx I_2, V_a = I_2 \left[ \left( R_1 + \frac{R_2'}{S} \right) + j (X_1 + X_2) \right]$$

maka:

$$I_2' = \frac{V_a}{\sqrt{\left( R_1 + \frac{R_2'}{S} \right)^2 + (X_1 + X_2)^2}}$$

Besarnya daya dari motor induksi tiga fasa dapat dihitung:  $P_{out} = 3 (I_2')^2 \left( \frac{R_2'}{S} \right)$  (bila rugi-rugi

mekanis diabaikan)

$$= \frac{3 (V_a)^2 \frac{R_2'}{S}}{\left( R_1 + \frac{R_2'}{S} \right)^2 + (X_1 + X_2)^2}$$

Torsi motor dapat dihitung:

$$T = \frac{P_{out}}{\tilde{S}_s} = \frac{3 (V_a)^2 \frac{R_2'}{S}}{\tilde{S}_s \left[ \left( R_1 + \frac{R_2'}{S} \right) + (X_1 + X_2) \right]}$$

dimana:  $s = 2 n_s$  dan  $s =$  kecepatan sudut dari medan putar magnet.  $n_s =$  kecepatan medan putar magnet (rps).

Apabila arus rotor  $I_0$  tidak diabaikan, berarti masih harus diperhitungkan,  $Z_o = \frac{j R_c X_m}{R_c + X_m}$

Untuk memudahkan dalam perhitungan, maka rangkaian dapat disederhanakan dengan menggunakan Theorema Theve-nin pada terminal.

$$V_{ab} = \frac{Z_o}{Z_o + Z_1} V_a$$

dimana:  $Z_1 = R_1 + jX_1$

$$V_{ab} = V_1 - I_1 Z_1$$

$$Z_{ab} = Z_1 // Z_o = \frac{Z_1 Z_o}{Z_1 + Z_o}$$

**Operasi Motor Induksi Tiga Fasa Pada Tegangan Sumber Tidak Seimbang**

Kebanyakan analisa motor induksi tiga fasa dengan menganggap bahwa tegangan sumber adalah seimbang. Belitan tiga fasa motor induksi adalah selalu simetris sebagai hasil dari disain dan konstruksi yang baik.

Kadang-kadang terjadi tegangan fasa ini menjadi tidak seimbang karena adanya kehadiran beban-beban yang tidak seimbang pada sistem atau adanya gangguan-gangguan pada saluran.

### 3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini dilaksanakan dengan mengadakan studi literatur dan mencari data primer atau sekunder di Laboratorium Politeknik Negeri Banjarmasin serta studi lapangan di Pabrik Gula Kebon Agung Malang Jawa Timur. Selanjutnya dengan menganalisis data dan didasarkan atas perhitungan yang ada dibuatlah kesimpulan dan saran jenis data adalah data kuantitatif, yaitu data yang dapat diukur secara langsung atau dinilai dengan angka. Teknik analisa data yang digunakan adalah analisa data kuantitatif.

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Data Teknis Motor

Adapun jenis motor induksi yang digunakan adalah motor induksi tiga fasa dengan rotor sangkar yang digunakan di Pabrik Gula Kebon Agung sebagai penggerak alat pemutih gula dengan data teknis sebagai berikut:

#### ELECTRIC OF DISCONTINUOUS 3 PHASE INDUCTION MOTOR

Kutub	: 4 pasang
Tegangan	: 380 volt
Kecepatan	: 735 rpm
Cos	: 0,8
Frekuensi	: 50 Hz
Daya	: 282 HP
R <sub>1</sub>	: 0,294 /fasa
X <sub>1</sub>	: 0,503 /fasa
X <sub>m</sub>	: 13,25 /fasa
R <sub>2</sub> '	: 0,144 /fasa
X <sub>2</sub> '	: 0,029 /fasa
R <sub>c</sub>	: diabaikan (G <sub>o</sub> = 0)

#### Analisa Data

##### a. Perhitungan Tegangan Motor

Dengan motor induksi dihubungkan ( ) maka tegangan per fasa:  $V_f = V_L$ , dimana:  $V_f$  = tegangan fasa (volt) dan  $V_L$  = tegangan line (volt).

Tegangan per-fasa motor, sesuai dengan persamaan di atas, maka:  $V_f = V_L$ ,  $V_f = 380$  volt

##### Perhitungan Arus Nominal Motor

Arus nominal motor:

$$I_2' = \frac{V_{ab}}{\sqrt{\left(R_{ab} + \frac{R_2'}{S_1}\right)^2 + (X_{ab} + X_2')^2}}$$

$$= \frac{365,92 \angle 1,22^\circ}{\sqrt{\left(0,273 + \frac{0,144}{0,419}\right)^2 + (0,490 + 0,029)^2}}$$

$$= \frac{365,92 \angle 1,22^\circ}{0,649 \angle 0^\circ}$$

$$= 563,82 \angle 1,22^\circ$$

#### Perhitungan Bila Satu atau Dua Tegangan Urutan Negatif Sumber Mengalami Kenaikan sedangkan Tegangan Urutan Negatif Sumber yang Lain Tetap terhadap Kecepatan Motor

Bila tegangan urutan negatif sumber satu saluran mengalami kenaikan sedangkan tegangan urutan negatif sumber saluran yang lain tetap, yaitu:

- Daya mekanik yang dihasilkan:

$$P_{mek} = 2 (I_{2,1}')^2 R_2' \left(\frac{1-S_1}{S_1}\right) + R_2' (1-S_1) \left[\frac{(I_{2,1}')^2}{S_1} - \frac{(I_{2,2}')^2}{2-S_1}\right]$$

$$= 2(563,82)^2 0,144 \left(\frac{1-0,02}{0,02}\right) + 0,144 (1-0,02) \left[\frac{(563,82)^2}{0,02} - \frac{(0)^2}{2-0,02}\right]$$

$$= 4,49 \times 10^6 + 0,14 (1,59 \times 10^7 - 0)$$

$$= 6,7160 \times 10^6 \text{ watt}$$

$$= 9,0027 \times 10^3 \text{ HP}$$

- Torsi elektromagnetik yang dihasilkan:

$$T_{em} = \frac{2(I_{2,1}')^2 \left(\frac{R_2'}{S_1}\right) + \frac{R_2'}{2fn_s} \left[\frac{(I_{2,1}')^2}{S_1} - \frac{(I_{2,2}')^2}{2-S_1}\right]}{2fn_s}$$

$$= \frac{2(563,82)^2 \left(\frac{0,144}{0,02}\right) + \frac{0,144}{2 \cdot 3,14 \cdot 12,5} \left[\frac{(563,82)^2}{0,02} - \frac{(0)^2}{2-0,02}\right]}{2 \cdot 3,14 \cdot 12,5}$$

$$= 5,83 \times 10^4 + 1,83 \times 10^{-3} (1,59 \times 10^7 - 0)$$

$$= 8,7397 \times 10^4 \text{ Nm}$$

- Kecepatan sinkron medan putar:

$$T_{em} = \frac{P_{mek}}{2fn_s}$$

$$n_s = \frac{P_{mek}}{2fn_s} = \frac{6,7160 \times 10^6}{5,49 \times 10^5} = 12,2332 \text{ rps} = 733,99 \text{ rpm}$$

- Kecepatan motor:

$$n_r = n_s (1-S_1) = 733,99 (1-0,02) = 719,31 \text{ rpm}$$

Dari contoh-contoh perhitungan di atas, maka hasil perhitungan berikutnya dapat dilihat dalam tabel 1 berikut.

Bila tegangan urutan negatif sumber dua saluran mengalami kenaikan sedangkan tegangan urutan negatif sumber saluran yang lain tetap, yaitu:

- Daya mekanik yang dihasilkan:

$$P_{mek} = (I_{2,1}')^2 R_2' \left(\frac{1-S_1}{S_1}\right) + 2R_2' (1-S_1) \left[\frac{(I_{2,1}')^2}{S_1} - \frac{(I_{2,2}')^2}{2-S_1}\right]$$

$$= (563,82)^2 0,144 \left(\frac{1-0,02}{0,02}\right) + 2 \cdot 0,144 (1-0,02) \left[\frac{(563,82)^2}{0,02} - \frac{(0)^2}{2-0,02}\right]$$

$$= 4,49 \times 10^6 + 0,28 (1,59 \times 10^7 - 0)$$

$$= 6,6920 \times 10^6 \text{ W} = 8,9705 \times 10^3 \text{ HP}$$

Tabel 1. Motor Induksi Tiga Fasa Bila Tegangan Urutan Negatif Sumber Saluran A Mengalami Kenaikan Sedangkan Tegangan Urutan Negatif Sumber Saluran B dan C Tetap

No.	V <sub>a1</sub> (V)	V <sub>a2</sub> (V)	I <sub>2,1'</sub> (A)	I <sub>2,2'</sub> (A)	P <sub>mek</sub> (HP)	T <sub>em</sub> (Nm)	n <sub>r</sub> (rpm)
1.	380 0°	0 180°	563,82 1,22°	0,00 181,22°	9,0027 x 10 <sup>3</sup>	8,7397 x 10 <sup>4</sup>	719,31
2.	380 0°	38 180°	563,82 1,22°	56,38 181,22°	9,0024 x 10 <sup>3</sup>	8,7394 x 10 <sup>4</sup>	719,29
3.	380 0°	76 180°	563,82 1,22°	112,76 181,22°	9,0015 x 10 <sup>3</sup>	8,7385 x 10 <sup>4</sup>	719,21
4.	380 0°	114 180°	563,82 1,22°	169,15 181,22°	9,0000 x 10 <sup>3</sup>	8,7371 x 10 <sup>4</sup>	719,09
5.	380 0°	152 180°	563,82 1,22°	225,53 181,22°	8,9979 x 10 <sup>3</sup>	8,7350 x 10 <sup>4</sup>	718,93
6.	380 0°	190 180°	563,82 1,22°	281,91 181,22°	8,9952 x 10 <sup>3</sup>	8,7324 x 10 <sup>4</sup>	718,71
7.	380 0°	228 180°	563,82 1,22°	338,30 181,22°	8,9918 x 10 <sup>3</sup>	8,7291 x 10 <sup>4</sup>	718,44
8.	380 0°	266 180°	563,82 1,22°	394,67 181,22°	8,9879 x 10 <sup>3</sup>	8,7253 x 10 <sup>4</sup>	718,13
9.	380 0°	304 180°	563,82 1,22°	451,06 181,22°	8,9834 x 10 <sup>3</sup>	8,7209 x 10 <sup>4</sup>	717,76
10.	380 0°	342 180°	563,82 1,22°	507,44 181,22°	8,9783 x 10 <sup>3</sup>	8,7159 x 10 <sup>4</sup>	717,36
11.	380 0°	380 180°	563,82 1,22°	563,82 181,22°	8,9725 x 10 <sup>3</sup>	8,7103 x 10 <sup>4</sup>	716,90

- Torsi elektromagnetik yang dihasilkan:

$$T_{em} = \frac{(I_{2,1}')^2 \left(\frac{R_2'}{S_1}\right)}{2f n_s} + \frac{2R_2'}{2f n_s} \left[ \frac{(I_{2,1}')^2}{S_1} - \frac{(I_{2,2}')^2}{2 - S_1} \right]$$

$$= \frac{(563,82)^2 \left(\frac{0,144}{0,02}\right)}{2 \cdot 3,14 \cdot 12,5} + \frac{2 \cdot 0,144}{2 \cdot 3,14 \cdot 12,5} \left[ \frac{(56382)^2}{0,02} - \frac{(0)^2}{2 - 0,02} \right]$$

$$= 2,92 \times 10^4 + 3,67 \times 10^{-3} (1,59 \times 10^7 - 0)$$

$$= 8,7553 \times 10^4 \text{ Nm}$$

- Kecepatan sinkron medan putar:

$$T_{em} = \frac{P_{mek}}{2f n_s} \quad n_s = \frac{P_{mek}}{2f T_{em}}$$

$$n_s = \frac{6692010}{2 \cdot 3,14 \cdot 755310} = \frac{6,6920 \times 10^6}{5,50 \times 10^5} = 12167 \text{ rps} = 73099 \text{ rpm}$$

- Kecepatan motor:

$$n_r = n_s (1 - S_1) = 730,02 (1 - 0,02) = 715,42 \text{ rpm}$$

Dari contoh-contoh perhitungan diatas, maka hasil perhitungan berikutnya dapat dilihat dalam tabel 2 berikut.

**Perhitungan Bila Satu atau Dua Saluran Sumber Putus terhadap Kecepatan Motor**

- Arus motor bila satu saluran sumber putus:

$$I_{2,1}' = \frac{V_{ab}}{Z_{ab}} = \frac{370,49 \angle 0,84^\circ}{0,19 + j 0,33} = \frac{370,49 \angle 0,84^\circ}{0,38 \angle 60,07^\circ} = 974,97 \angle -59,23^\circ$$

- Slip motor bila satu saluran sumber pu-tus:

$$S = \frac{R_2'}{\sqrt{\frac{V_{ab}}{I_{2,1}'} - (X_{ab} + X_2') - R_{ab}}} = \frac{0,144}{\sqrt{\frac{370,49}{974,97} - (0,33 + 0,029) - 0,19}}$$

$$= \frac{0,144}{\sqrt{0,38 - (0,33 + 0,029) - 0,19}} = \frac{0,144}{0,07} = 2,06$$

- Daya mekanik motor induksi bila satu saluran sumber putus:

$$P_{mek} = (I_{2,1}')^2 R_2' \left(\frac{1 - S}{S}\right) = (974,97)^2 \cdot 0,144 \left(\frac{1 - 2,06}{2,06}\right)$$

$$= -7,04 \times 10^4 \text{ W} = -94,37 \text{ HP}$$

- Torsi elektromagnetik motor bila satu sa-luran sumber putus:

$$T_{em} = \frac{(I_{2,1}')^2 \left(\frac{R_2'}{S}\right)}{2f n_s} = \frac{(974,97)^2 \left(\frac{0,144}{2,06}\right)}{2 \cdot 3,14 \cdot 12,5}$$

$$= 846,46 \text{ Nm}$$

- Kecepatan sinkron medan putar bila sa-tu saluran sumber putus:

$$T_{em} = \frac{P_{mek}}{2f n_s} \quad n_s = \frac{P_{mek}}{2f T_{em}}$$

$$n_s = \frac{-7,04 \times 10^4}{2 \cdot 3,14 \cdot 846,46} = -13,24 \text{ rps} = -794,40 \text{ rpm}$$

- Kecepatan motor bila satu saluran sumber pu-tus: n<sub>r</sub> = n<sub>s</sub> (1 - S<sub>1</sub>) = -794,40 (1 - 2,02) = 842,06 rpm

Slip urutan positif motor bila dua saluran sumber putus adalah sama dengan slip motor pada saat start (S = 100%) karena pada kondisi ini tidak terjadi medan putar.

- Daya mekanik motor induksi bila dua saluran sumber putus:

$$P_{mek} = (I_{2,1}')^2 R_2' \left(\frac{1 - S}{S}\right) = (0)^2 \cdot 0,144 \left(\frac{1 - 1}{1}\right) = 0$$

Tabel 2. Motor Induksi Tiga Fasa Bila Tegangan Urutan Negatif Sumber Saluran A dan B Mengalami Kenaikan Sedangkan Tegangan Urutan Negatif Sumber Saluran C Tetap.

No.	V <sub>a1</sub> (V)	V <sub>a2</sub> (V)	V <sub>b1</sub> (V)	V <sub>b2</sub> (V)	P <sub>mek</sub> (HP)	T <sub>em</sub> (Nm)	n <sub>s</sub> (rpm)	n <sub>r</sub> (rpm)
1.	380 0°	0 180°	380 0°	0 180°	8,9705 x 10 <sup>3</sup>	8,7553 x 10 <sup>4</sup>	730,02	715,42
2.	380 0°	38 180°	380 0°	38 180°	8,9700 x 10 <sup>3</sup>	8,7547 x 10 <sup>4</sup>	729,96	715,36
3.	380 0°	76 180°	380 0°	76 180°	8,9681 x 10 <sup>3</sup>	8,7529 x 10 <sup>4</sup>	729,84	715,24
4.	380 0°	114 180°	380 0°	114 180°	8,9651 x 10 <sup>3</sup>	8,7500 x 10 <sup>4</sup>	729,60	715,01
5.	380 0°	152 180°	380 0°	152 180°	8,9609 x 10 <sup>3</sup>	8,7459 x 10 <sup>4</sup>	729,24	714,66
6.	380 0°	190 180°	380 0°	190 180°	8,9554 x 10 <sup>3</sup>	8,7406 x 10 <sup>4</sup>	728,82	714,24
7.	380 0°	228 180°	380 0°	228 180°	8,9488 x 10 <sup>3</sup>	8,7341 x 10 <sup>4</sup>	728,28	713,71
8.	380 0°	266 180°	380 0°	266 180°	8,9410 x 10 <sup>3</sup>	8,7264 x 10 <sup>4</sup>	727,62	713,07
9.	380 0°	304 180°	380 0°	304 180°	8,9319 x 10 <sup>3</sup>	8,7176 x 10 <sup>4</sup>	726,90	712,36
10.	380 0°	342 180°	380 0°	342 180°	8,9217 x 10 <sup>3</sup>	8,7076 x 10 <sup>4</sup>	726,06	711,54
11.	380 0°	380 180°	380 0°	380 180°	8,9103 x 10 <sup>3</sup>	8,6964 x 10 <sup>4</sup>	725,16	710,66

- Torsi elektromagnetik motor bila dua saluran sumber putus:

$$T_{em} = \frac{(I_2')^2 \left( \frac{R_2'}{S} \right)}{2f n_s} = \frac{(0)^2 \left( \frac{0,144}{1} \right)}{2 \cdot 3,14 \cdot 12,5} = 0$$

- Kecepatan sinkron medan putar bila dua saluran sumber putus:

$$T_{em} = \frac{P_{mek}}{2f n_s} \quad n_s = \frac{P_{mek}}{2f T_{em}} \quad T_{em} = \frac{0}{2 \cdot 3,14 \cdot 5,819 \times 10^2} = 0$$

- Kecepatan motor bila dua saluran sumber putus:  $n_r = n_s (1 - S_1) = 0(1 - 1) = 0$

Dari contoh-contoh perhitungan diatas maka hasil perhitungan berikutnya dapat dilihat dalam tabel 3 berikut:

Tabel 3. Motor Induksi Tiga Fasa Bila Satu atau Dua Saluran Sumber Putus.

No.	V <sub>a</sub> (V)	I <sub>2'</sub> (A)	P <sub>mek</sub> (HP)	T <sub>em</sub> (Nm)	n <sub>s</sub> (rpm)	n <sub>r</sub> (rpm)
1.	380	974,97	-94,37	846,46	-794,40	842,06
2.	0	0	0	0	0	0

Dari tabel 3 dapat diketahui, bila satu saluran sumber putus maka daya mekanik adalah -94,37 HP, torsi elektromagnetik adalah 846,46 Nm dan kecepatan motor adalah 842,06 rpm.

Bila dua saluran sumber putus maka daya mekanik adalah 0, torsi elektromagnetik adalah 0, dan kecepatan motor adalah 0, pada keadaan ini motor tidak berputar atau diam karena slip motor adalah 1 sehingga tidak terjadi medan putar yang biasa terjadi pada rangkaian tiga fasa.

**Upaya mengatasi menurunnya kecepatan motor induksi tiga fasa**

Keadaan menurunnya kecepatan motor merupakan keadaan yang tidak stabil, keadaan ini adalah keadaan yang merugikan sedangkan yang dikehendaki adalah keadaan stabil. Suatu sistem disebut stabil jika sistem tersebut akan tetap dalam keadaan normal (diam), Jika dirangsang (dieksitasi) oleh suatu fungsi masukan akan kembali dalam keadaan normal, jika eksitasi tersebut dihilangkan. Alat untuk menormalkan pengaruh eksitasi oleh suatu fungsi masukan tersebut diatas adalah stabilisator tegangan.

Stabilisator tegangan (voltage stabilizer) adalah juga variasi dari transformator otomatis tipe regulator voltage tetap. Dalam masalah variabel tegangan adalah masukan yang seharusnya stabil, Karena diberikan kepada beberapa macam peralatan yang sangat sensitif terhadap tegangan yang bervariasi.

Voltage Stabilizer ada 3 tipe:

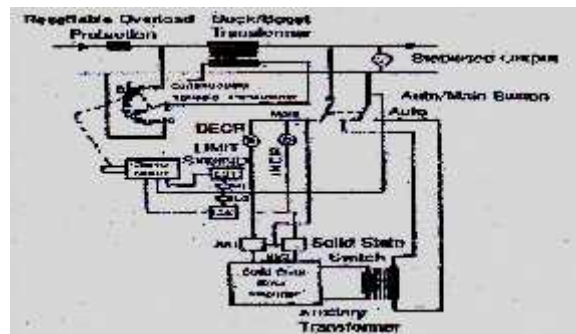
- a. Manual operated stepped or continous variable control (operasi manual naik turun dengan tjam) atau

- b. Automatic motor operated (pengoperasian motor secara otomatis).
- c. Servo controlled

Peneliti memilih yang praktis yaitu servo controlled voltage stabilizers. Rangkaian dalam masalah ini ditampilkan pada gambar 6.

Servo control stabilizer dirancang dapat membaca tegangan yang dihasilkan oleh voltage regulator otomatis dan mengontrol untuk mempertahankan limit (tegangan yang stabil). Servo stabilizer pada dasarnya terdiri dari:

- a. Servo motor atau mengendalikan sendiri secara otomatis terus-menerus terhadap variabel autotransformer.
- b. Buck boost transformer adalah instrumen yang menghasilkan tegangan yang berlawanan dengan tegangan sumber.
- c. Solid state device adalah alat perangkat yang berfungsi membandingkan antara tegangan output dari suplai dengan tegangan yang ditetapkan (standar normal).

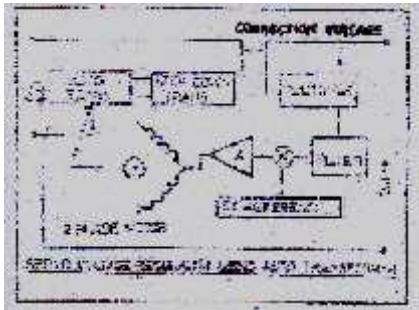


Gambar 6. Servo Dikendalikan Stabilisasi Tegangan

Selisih antara kedua tegangan itu ditemukan besarnya kesalahan atau error. Solid state control circuit adalah alat yang mengoperasikan motor apabila sewaktu-waktu tegangan output turun atau naik melebihi batas ketentuan awal (sementara). Lilitan sekunder atau lilitan pembantu dari buck boost transformer berada di dalam seri supply utama (sumber utama). Sementara itu, lilitan utama dihubungkan kepada motor transformer otomatis. Motor inilah yang menggerakkan autotransformer yang mengisi buck boost transformer utama. Disamping itu ia juga mengoreksi agar penggunaan tegangan sesuai dengan limit (level yang dikehendaki). Pada umumnya kebiasaan utama adalah menggunakan limit yang ditetapkan untuk regulasi tegangan seperti yang disarankan, adalah servo motor voltage controlled variable transformer.

Servo stabilizer dibangun disekitarnya sebuah autotransformer (lihat gambar 7) itu adalah transformer dengan sebuah lilitan tunggal yang memakai induksi magnetik sendiri. Ini adalah banyak serupa dengan dimmer (pencuit) yang besar mengontrol ancaman yang variabel de-

ngan contact slide, diatas lilitan diatas semi circular core, banyak seperti sebuah potensiometer yang mencatat ukuran lebih.



Gambar 7. Regulator Tegangan Servo dengan Menggunakan Auto Transformator

Tangan yang bergerak diatas lilitan transformator otomatis adalah dikontrol oleh servo motor. Ketika rangkaian pembandingan tegangan output dengan tegangan yang seharusnya (diteapkan), ditemukan itu lebih tinggi dari pada seharusnya. Itu dihasilkan output dengan tanda positif untuk servo motor pengontrol dan tangan memutar sampai kedua tegangan sama. Jika tegangan output turun dibawah limit yang ditetapkan, servo controlling voltage bergerak negatif dan menggerakkan autotransformer secara otomatis kepada cara lain menurunkan tegangan. Tentu saja beberapa leeway atau hysteresis diizinkan: servo motor saja yang dihidupkan pada waktu tegangan output ditemukan diluar dari rentangan preset sekitar 5%, jika tidak terjadi lonjakan tegangan turun atau naik melebihi batas ketentuan, rangkaian akan menggunakan seluruh waktu untuk memelihara tegangan yang tepat dan servo motor selalu dioperasikan.

Servo mengontrol unit yang mampu menghasilkan regulasi tegangan  $\pm 5\%$  efisiensi setinggi 98% servo demikian tersedia sampai 150 kVA. Tabel 4. dibawah menunjukkan bahwa tegangan input dari sumber yang normal untuk tiga fasa 360 – 470.

Tabel 4. Ukuran Stabilisator Tegangan (Korektor Tegangan Saluran)

Tegangan input	Output	
	Otomatis	Servo dikendalikan
Satu fasa 160 - 260	230 $\pm$ 7,5 240 $\pm$ 5% -10%	230 $\pm$ 0,5
Tiga fasa 360 - 470	445 $\pm$ 5%	415 $\pm$ 0,5

## 5. PENUTUP

### Kesimpulan

1. Bila tegangan urutan negatif sumber satu saluran mengalami kenaikan 10% sedangkan tegangan urutan negatif sumber salur-

an yang lain tetap, menyebabkan kecepatan motor mengalami penurunan rata-rata sebesar 24%. Bila tegangan urutan negatif sumber dua saluran mengalami kenaikan 10% sedangkan tegangan urutan negatif sumber saluran yang lain tetap menyebabkan kecepatan motor mengalami penurunan rata-rata sebesar 48%. Oleh karena itu diusahakan agar tegangan sumber selalu seimbang.

2. Tegangan urutan negatif dari tegangan tidak seimbang harus dibatasi tidak boleh melebihi 10% dari tegangan urutan positif yaitu 38 volt agar penurunan daya dan torsi motor tidak terlalu besar yang dapat menyebabkan menurunnya kecepatan motor.
3. Menurunnya kecepatan motor induksi tiga fasa diatasi dengan menggunakan stabilisator tegangan (voltage stabilizer).

### Saran

Gunakan stabilisator tegangan (voltage stabilizer) untuk menjaga kestabilan kecepatan motor induksi tiga fasa pada regulasi tegangan  $\pm 5\%$  dan efisiensi 98%.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

1. A. E. Fitzgerald dan Charles Kingsley JR. , (1992), *Mesin-Mesin Listrik*, Edisi Keempat, Cetakan Ketiga, Penerbit Erlangga, Jakarta.
2. Abdul, Kadir, (1986), *Mesin Tak Serempak*, Cetakan Kedua, Penerbit Djambatan, Jakarta.
3. Abdul, Kadir, (1993), *Pengantar Teknik Tenaga Listrik*, Cetakan Pertama, Penerbit LP3ES, Jakarta.
4. Alexander S. Langsdorf, (1981), *Theory of Alternating Current Machinery*, Published by Tata Mc Graw-Hill Publishing Company.
5. Eugene C. Lister and Robert J. Rush, (1993), *Electric Circuit and Machines*, Seven Edition, Mc Graw-Hill.
6. Er. V.K. Jain and Er. Amitabh Bajaj, (1993), *A Text Book of Design of Electrical Installations*, Published by Laxmi Publications, New Delhi.
7. M. Kostento and L. Piotrovsky, (1977), *Electrical Machines II*, Mir Publisher, Moscow.
8. P.S. Bimbhra, (1980), *Generalized Theory of Electrical Machines*, New Delhi.
9. S. A. Nasar, (1993), *Electromechanics and Electric Machines*, Second Edition, Published by University of Kentucky, New York.
10. Zuhail, (1993), *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika daya*, Cetakan Keempat, Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.