

SIMULASI SISTEM PROTEKSI MOTOR INDUKSI 3 FASA TERHADAP SUPLAI TEGANGAN TIDAK SEIMBANG DENGAN METODA SIMULINK

I Kadek Dwi Artika Putra¹, Wayan Arta Wijaya², I Gusti Ngurah Janardana³

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

^{2,3}Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Email: dekdw27@gmail.com¹, artawijaya@ee.unud.ac.id², janardana@unud.ac.id³

ABSTRAK

Motor induksi 3 fasa yang penggunaannya paling luas adalah motor induksi tiga fasa, hampir 90% penggunaan motor pada industri menggunakan jenis motor induksi 3 fasa. Operasi motor induksi 3 fasa pada umumnya memiliki gangguan ketidakseimbangan tegangan. Ketidakseimbangan tegangan berpengaruh ke beberapa hal, diantaranya rugi-rugi dan efisiensi. Penelitian ini menggunakan metode simulasi dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh tegangan tidak seimbang terhadap karakteristik motor induksi 3 fasa dan cara mengamankan motor induksi 3 fasa bila mendapat suplai tegangan tidak seimbang. Hasil dari simulasi ini didapatkan efisiensi terkecil adalah sebesar 56,8% pada kondisi *drop* tegangan pada salah satu fasa dan 78,4 pada kondisi *drop* tegangan pada ketiga fasa (R, S dan T) dengan asimetri tegangan sebesar 20% dan rugi – rugi terbesar adalah 11 406 Watt pada kondisi *drop* tegangan pada salah satu fasa dengan asimetri tegangan sebesar 20%. Pada simulasi sistem proteksi motor induksi 3 fasa dari suplai tegangan tidak seimbang didapatkan hasil dengan *tripping breaker* tercepat yaitu pada detik 0,201 s dengan kondisi *drop voltage* 15% pada fasa S. Pola pengamanan motor induksi 3 fasa bila mendapat suplai tegangan tidak seimbang adalah dengan menggunakan sistem pengaman tegangan tidak seimbang yang mempunyai *time delay tripping* yang lebih cepat.

Kata Kunci: Motor Induksi 3 Fasa, Ketidakseimbangan Tegangan, Pengaman Motor.

ABSTRACT

The most widespread use of AC electric motors is three-phase induction motors, almost 90% of motor applications in the industry use three-phase induction motors. The operation of 3 phase induction motors generally has voltage imbalance disorders. Voltage imbalance affects several things, including losses and efficiency. This study uses simulation method with the aim to determine the influence of unbalanced voltage on the characteristics of 3 phase induction motor and how to secure a 3-phase induction motor when it gets an unbalanced voltage supply. The result of this simulation obtained the smallest efficiency is 56.8% in the voltage drop condition in one phase and 78.4 in the voltage drop condition in all three phases (R, S and T) with voltage asymmetry of 20% and the biggest loss is 11 406 Watts in the voltage drop condition on one phase with voltage asymmetry of 20%. In the simulation of 3 phase induction motor protection system of unbalanced voltage supply obtained by tripping breaker fastest that is at 0.201 s seconds with drop voltage condition 15% in phase S. 3 phase induction motor safety pattern when getting unbalanced voltage supply is to use an unbalanced voltage safety system that has faster tripping delay time.

Keywords: 3 Phase Induction Motor, Voltage Imbalance, Motor Protection.

1. PENDAHULUAN

Motor listrik yang memiliki persentase penggunaan yang paling banyak pada industri era sekarang ini adalah motor dengan jenis motor induksi tiga fasa,

hampir 90% motor yang digunakan pada perusahaan – perusahaan dan industri menggunakan motor jenis motor induksi tiga fasa [1]. Banyaknya bidang industri menggunakan motor jenis ini karena lebih

kuat dalam konstruksi atau struktur, memiliki daya tahan atau keandalan yang lebih tinggi dari motor listrik AC jenis lain, harga yang lebih murah dari motor jenis lain, dan perawatan yang relatif mudah.

Dari banyaknya penggunaan motor jenis ini, tentu ada beberapa gangguan yang timbul akibat dari beberapa hal. Belakangan ini gangguan yang sering mempengaruhi kinerja motor induksi diantaranya adalah tegangan tidak seimbang, di mana tegangan tidak seimbang ini bisa menurunkan efektivitas dari motor itu sendiri. Efek yang signifikan akan terjadi pada efisiensi dan rugi – rugi motor, adanya kenaikan atau turun nya tegangan pada salah satu fasa dapat menyebabkan ketidakseimbangan nya arus pada belitan motor, sehingga beban juga menjadi tidak seimbang sehingga akan menyebabkan efek panas pada salah satu fasa, pada kondisi inilah akan terjadi nya penurunan efisiensi dan juga menyebabkan kenaikan rugi – rugi daya pada motor [2]

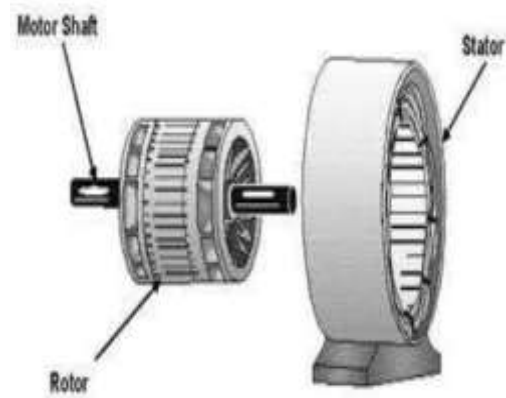
Dari beberapa permasalahan di atas pada penelitian ini akan dilakukan simulasi dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh tegangan tidak seimbang terhadap efisiensi dan rugi – rugi motor induksi 3 fasa serta pola pengamanan motor induksi 3 fasa bila mendapat suplai tegangan tidak seimbang.

2. METODE OPTIMASI

2.1 Motor Induksi 3 Fasa

Motor induksi 3 fasa dapat diartikan sebagai suatu mesin yang menggunakan listrik 3 fasa sebagai sumber tenaganya yang berupa tegangan, kemudian di *input* kan pada bagian motor yang sering di sebut dengan stator, pada bagian stator inilah proses perubahan energi mulai terjadi, yaitu dengan dilanjutkannya tegangan ke belitan. Belitan motor akan terjadi proses magnetifikasi, yaitu proses terjadinya medan magnet yang kemudian membuat rotor bergerak, pergerakan rotor inilah yang kemudian di hubungkan dengan motor *shaft* dan akan dilanjutkan ke beban [3].

Motor jenis ini memiliki dua struktur utama, yang pertama sering disebut dengan stator dan bagian yang kedua sering disebut dengan rotor. Stator adalah komponen atau bagian motor yang diam, dan pada bagian rotor merupakan bagian yang dapat bergerak. Gambar konstruksi motor induksi 3 fasa dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kontruksi Motor Induksi [1]

Cara kerja motor jenis ini pada dasarnya bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik di mana pada motor jenis ini tidak ada tegangan yang langsung mengalir ke rotor, akan tetapi di induksikan dari bagian motor yang disebut dengan stator ke bagian rotor dengan melewati bagian jarak antara stator dan rotor, ketika belitan rotor diinduksikan arus dari stator, maka akan menimbulkan medan magnet yang kemudian membuat rotor menjadi berputar [4].

2.2 Sistem Proteksi

Sistem proteksi merupakan salah satu komponen utama dalam dunia kelistrikan, hal ini karena banyaknya faktor – faktor yang dapat membahayakan keselamatan motor serta orang yang mengoperasikannya. Gangguan yang sering muncul pada instalasi motor listrik diantaranya adalah *short circuit*, adanya beban lebih pada motor, *over current*, ketidakseimbangan tegangan dan gangguan – gangguan yang lainnya.

Dari beberapa gangguan ketidakseimbangan tegangan merupakan salah masalah yang sering muncul belakangan ini dan perlu disikapi karena mempengaruhi kinerja motor induksi, antara lainnya adalah mempengaruhi efisiensi dan rugi – rugi motor. Persamaan efisiensi dan rugi – rugi motor dapat dilihat pada persamaan 1 dan 3 [1]:

$$\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{in}} \times 100\% \quad (1)$$

Dengan:

$$P_{in} = V \times I \times \cos \varphi \quad (2)$$

$$P = I^2 \cdot R \quad (3)$$

Keterangan:

η = Efisiensi daya (%)

- P_{out} = Daya keluaran motor (Watt)
- P_{in} = Daya masukan motor (Watt)
- V = Tegangan. (Volt)
- I = Arus (Ampere)
- $\cos \varphi$ = Faktor daya (Watt)
- R = Hambatan (Ohm)

2.3 Relay Control Phasa (RCP)

RCP *relay* adalah jenis *relay* yang memonitor kesimetrisan tegangan pada rangkaian 3 fasa. *Relay* ini biasanya dipergunakan untuk memproteksi motor induksi 3 fasa dari tegangan tidak seimbang, dimana apabila terdapat tegangan yang tidak seimbang dari masing – masing fasa, maka *relay* ini akan memutus suplai tegangan ke kontaktor, sehingga motor tidak bisa *starting* pada kondisi ini

Prinsip kerja RCP adalah dengan membaca *input* berupa besaran tegangan. Pembacaan besaran tegangan dipergunakan untuk memonitoring keberadaan dan keseimbangan tegangan antara ketiga fasa atau (R, S dan T) yang kemudian disesuaikan dengan pengaturan *asymetry* yang ada pada RCP, ketika pembacaan tidak sesuai dengan pengaturan nilai *setting*, maka RCP akan NO (*Normally Open*) sehingga tidak ada suplai tegangan yang masuk ke kontaktor. Pada kondisi inilah motor tidak bisa *starting* sehingga terhindar dari gangguan. Untuk menghitung perbedaan tegangan yang diperbolehkan dari masing-masing fasa adalah dengan menggunakan persamaan (4) dan (5) [1]:

Batas tegangan bawah:

$$V_R = V_P \times 10\% \tag{4}$$

Batas tegangan atas;

$$V_R = V_P \times 5\% \tag{5}$$

Keterangan:

- V_R = Tegangan yang diperbolehkan
- V_P = Tegangan dari masing-masing fasa

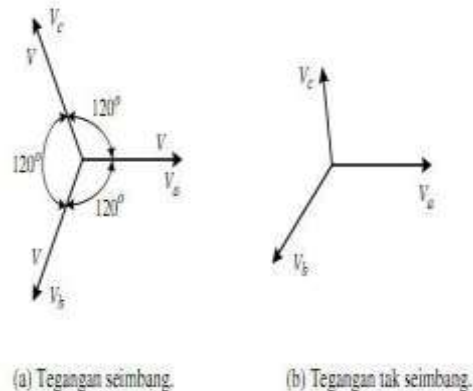
2.4 Pengaruh Ketidakseimbangan Tegangan Terhadap Kinerja Motor Induksi

Tegangan tidak seimbang tentunya akan berpengaruh terhadap kinerja motor induksi 3 fasa. Pengaruh tersebut akan paling terlihat pada efisiensi dan rugi-rugi motor. Hal ini karena suplai tegangan yang tidak seimbang yang mempengaruhi perbedaan besar sudut fasa yang akan masuk ke motor, sehingga dapat menyebabkan timbulnya perbedaan arus

yang mengalir pada kumparan motor, perbedaan aliran arus ini dapat menyebabkan kenaikan temperatur pada motor karena beban yang di alirkan pada kumparan tidak seimbang. Apabila keadaan dengan ketidakseimbangan tegangan ini di operasikan dengan waktu yang lama, maka akan dapat menurunkan efisiensi dan menaikkan rugi-rugi motor [5]

Suatu sistem kelistrikan yang dapat dikatakan dengan sistem yang seimbang bila besar tegangan yang mengalir pada ketiga fasanya tidak melebihi dari batas – batas yang telah ditentukan, yaitu dengan batas asimetri 10% pada kondisi tegangan jatuh dan kondisi asimetri 5% pada kondisi tegangan lebih. Pada perbedaan sudut fasa, suatu sistem kelistrikan yang dibilang seimbang memiliki perbedaan sudut fasa apabila dilakukan pengukuran dari fasa ke netral memiliki perbedaan sudut yaitu sebesar 120° seperti yang sudah ada pada Gambar (2a), jadi sistem instalasi kelistrikan dikatakan tidak seimbang apabila tidak memenuhi persyaratan diatas. Contoh gambar yang menunjukkan sistem yang tidak seimbang dapat dilihat pada Gambar (2b).

Permasalahan tegangan yang tidak seimbang merupakan masalah yang pada umumnya sering terjadi pada sistem jaringan 20KV atau sering disebut dengan sistem jaringan distribusi. Tegangan tidak seimbang biasanya terjadi karena beberapa hal, yang pertama bisa karena adanya gangguan kelistrikan pada salah satu fasa, yang kedua bisa karena sistem pembebanan sistem kelistrikan yang relatif tidak seimbang sehingga menyebabkan ketidak setaraan tegangan, adanya perbedaan tersebut membuat salah satu fasa kehilangan tegangan sehingga menyebabkan tidak seimbang dengan fasa yang lainnya [6]



Gambar 2. Tegangan Seimbang dan Tegangan Tidak Seimbang

2.5 Efisiensi Motor Induksi

Efisiensi merupakan perbandingan perubahan masukan energi yang masuk pada motor kemudian diolah menjadi energi mekanik yang diukur dengan rasio perbandingan antara daya masukan dan daya keluaran pada motor. Jadi besar efisiensi dari suatu motor akan tergantung pada banyaknya daya yang terbuang pada saat motor beroperasi.

Jadi definisi efisiensi merupakan perbandingan daya masukan dan keluaran motor yang tergantung terhadap sistem kerja motor yang pada umumnya dinyatakan dengan persentase dengan persamaan. (6) [7];

$$\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{in}} \times 100\% \quad (6)$$

2.6 Besar Aliran Daya Pada Motor Induksi Tiga Fasa

Daya yang mengalir pada motor induksi tidaklah langsung menuju rotor. Daya yang disuplai ke motor akan di masukan pada komponen stator, kemudian nantinya akan ada celah udara yang menggandeng daya menuju ke rotor. Besar masukan daya total yang menuju pada kumparan stator dari motor induksi dapat dihitung dengan persamaan [8];

$$P_{in} = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \quad (7)$$

Dengan:

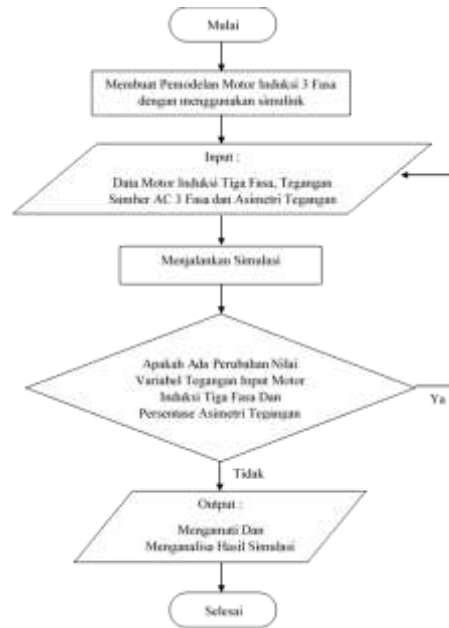
V = Tegangan Sumber (Volt)

I = Arus Sumber (Ampere)

$\cos \varphi$ = Faktor Daya Motor Induksi

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di PDAM Tirta Mangutama Kabupaten Badung. Waktu pelaksanaan dimulai dari bulan Januari 2021. Analisis data rumusan masalah yang pertama yaitu mengenai dampak dari tegangan yang tidak seimbang terhadap karakteristik motor induksi 3 fasa dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Analisis Data Pengaruh Tegangan Tidak Seimbang Terhadap Karakteristik Motor Induksi 3 Fasa

Berikut deskripsi dari Gambar 3:

Langkah 1. Tahap Pengumpulan Data

Pada tahap yang pertama pada penelitian ini dilakukan dengan membuat pemodelan motor induksi 3 fasa dengan memakai simulink, pemodelan yang dibuat sesuai dengan bentuk rangkaian yang ada di lapangan.

Langkah 2. Memasukkan data motor induksi 3 fasa, tegangan, dan persentase asimetri tegangan.

Pada pemasukan beberapa parameter dilakukan dengan mengikuti data yang ada di lapangan, dengan tujuan untuk mengetahui secara persis keadaan yang ada pada tempat penelitian dengan menggunakan simulasi.

Langkah 3. Menjalankan simulasi

Menjalankan simulasi atau uji coba dilakukan agar dapat melihat hasil dari rangkaian simulasi yang telah dibuat.

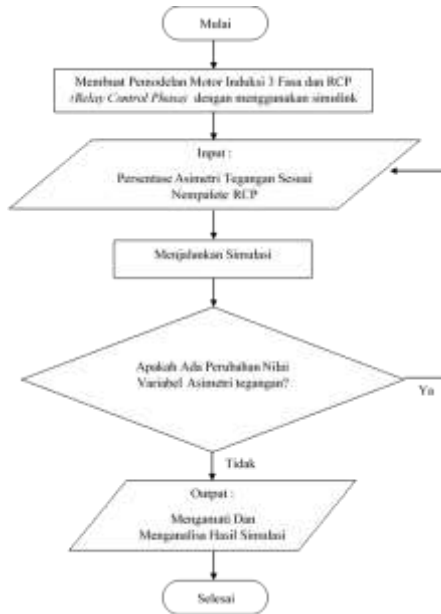
Langkah 4. Perubahan nilai *input*.

Perubahan *input* untuk merubah nilai masukan yang akan disimulasikan pada pemodelan.

Langkah 5. Analisis hasil simulasi

Analisis dilakukan untuk mengetahui hasil dari simulasi yang telah dilakukan yaitu pengaruh suplai tegangan yang mempunyai asimetri yang besar terhadap karakteristik motor induksi 3 fasa.

Analisis data rumusan masalah yang kedua yaitu mengenai pengaruh tegangan yang mempunyai asimetri tegangan yang besar terhadap karakteristik motor induksi 3 fasa dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Analisis Data Pola Pengamanan Motor Induksi 3 Fasa Bila Mendapat Suplai Tegangan Tidak Seimbang

Berikut deskripsi dari pada Gambar 4:
Langkah 1. Pengumpulan Data

Pada tahap pertama penelitian ini diawali dengan membuat pemodelan motor induksi 3 fasa dan *Relay Control Phase* (RCP) dengan menggunakan simulink, pemodelan yang dibuat sesuai dengan bentuk rangkaian yang ada di lapangan. Langkah 2. Memasukkan data persentase asimetri tegangan RCP sesuai dengan *nameplate*.

Pada pemasukan beberapa parameter dilakukan dengan mengikuti data yang ada pada tempat penelitian, dengan tujuan untuk dapat mengetahui secara persis keadaan yang ada di lapangan dengan menggunakan simulasi.

Langkah 3. Menjalankan simulasi

Menjalankan simulasi atau uji coba dilakukan untuk mengetahui mengenai hasil dari rangkaian simulasi yang telah dibuat. Langkah 4. Perubahan nilai input.

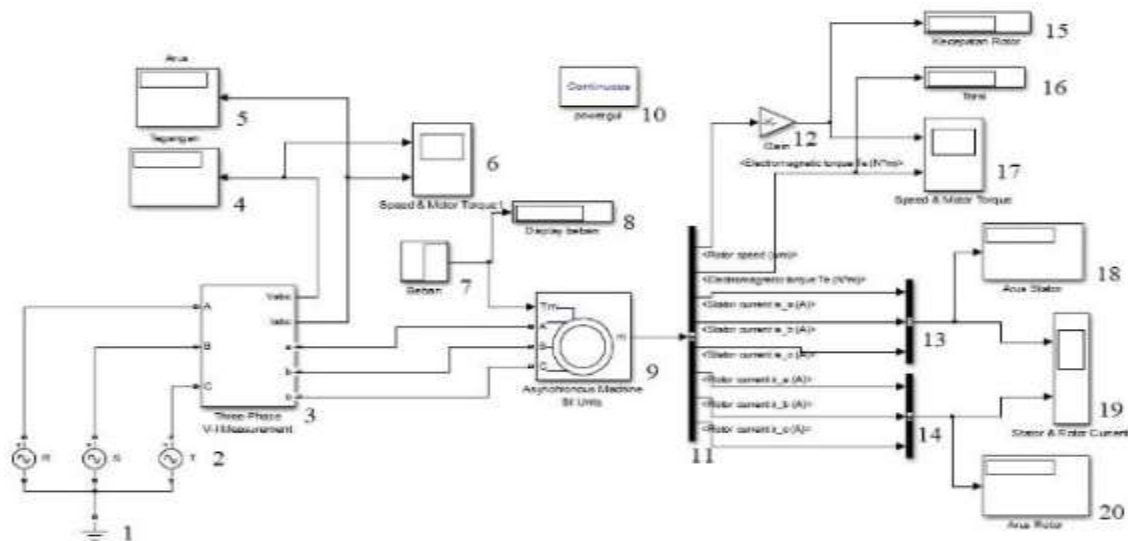
Perubahan *input* untuk merubah nilai masukkan yang akan disimulasikan pada pemodelan.

Langkah 5. Analisis hasil simulasi

Analisis dilakukan untuk mengetahui hasil dari simulasi yang telah dilakukan yaitu pengaruh tegangan yang memiliki asimetri yang besar atau tidak seimbang terhadap karakteristik motor induksi 3 fasa.

3.1 Pemodelan Simulasi

3.1.1 Pemodelan motor induksi 3 fasa



Gambar 5. Pemodelan Simulasi Motor Induksi 3 Fasa

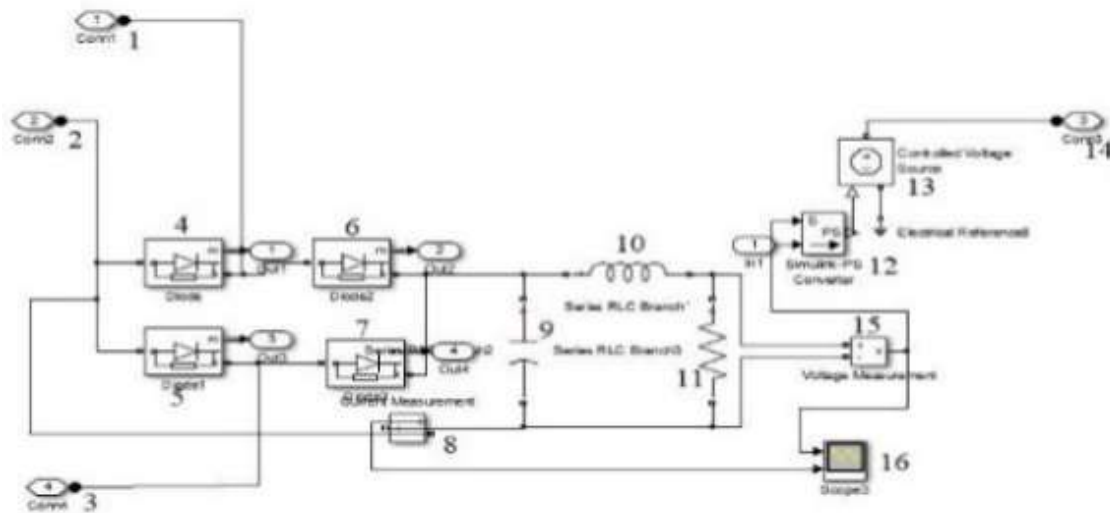
Keterangan:

1. Ground
2. AC voltage source
3. Three-phase v-i measurement
4. 5. 8. 15. 16. 18. 20. Display
6. 17. 19. Scope
7. Step
9. Asynchronous Machine
10. Powergui
11. Bus selector
12. Gain
13. 14. Bus creator

Gambar 5 merupakan pemodelan motor induksi 3 fasa yang digunakan untuk mensimulasikan pengaruh tegangan tidak seimbang terhadap karakteristik motor induksi 3 fasa. Beban yang digunakan adalah motor dengan *preset model* 20 HP (15 KW) 400 V 50 Hz 1460 RPM. Pada pemodelan ini dilakukan percobaan dengan memasukkan beberapa perbedaan nilai suplai tegangan tiga fasa.

3.1.2 Pemodelan sistem proteksi motor induksi 3 fasa bila mendapat suplai tegangan tidak seimbang

a. Pemodelan penyearah gelombang penuh



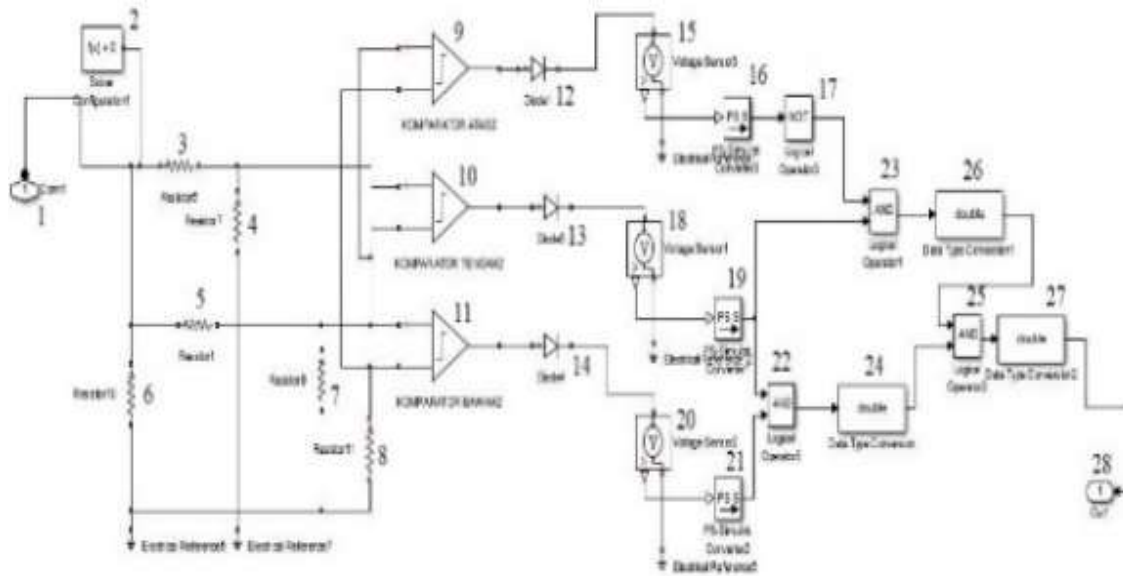
Gambar 6. Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh

Keterangan;

1. 2. 3. 14 Port
4. 5. 6. 7. Dioda
8. Current measurement
9. 10. 11. Series RLC branch
12. Simulink ps converter
13. Controlled voltage source
15. Voltage measurement
16. Scope

Gambar 6 merupakan rangkaian penyearah gelombang penuh yang digunakan pada simulasi. Penyearah gelombang penuh pada pemodelan ini berfungsi untuk menyearahkan gelombang AC menjadi DC yang diperoleh dari suplai tegangan atau *ac voltage source*. Tegangan ini disearahkan berfungsi sebagai pembanding tegangan pada komparator. Besar tegangan *output* pada rangkaian penyearah gelombang penuh adalah 24 V.

b. Komparator jendela



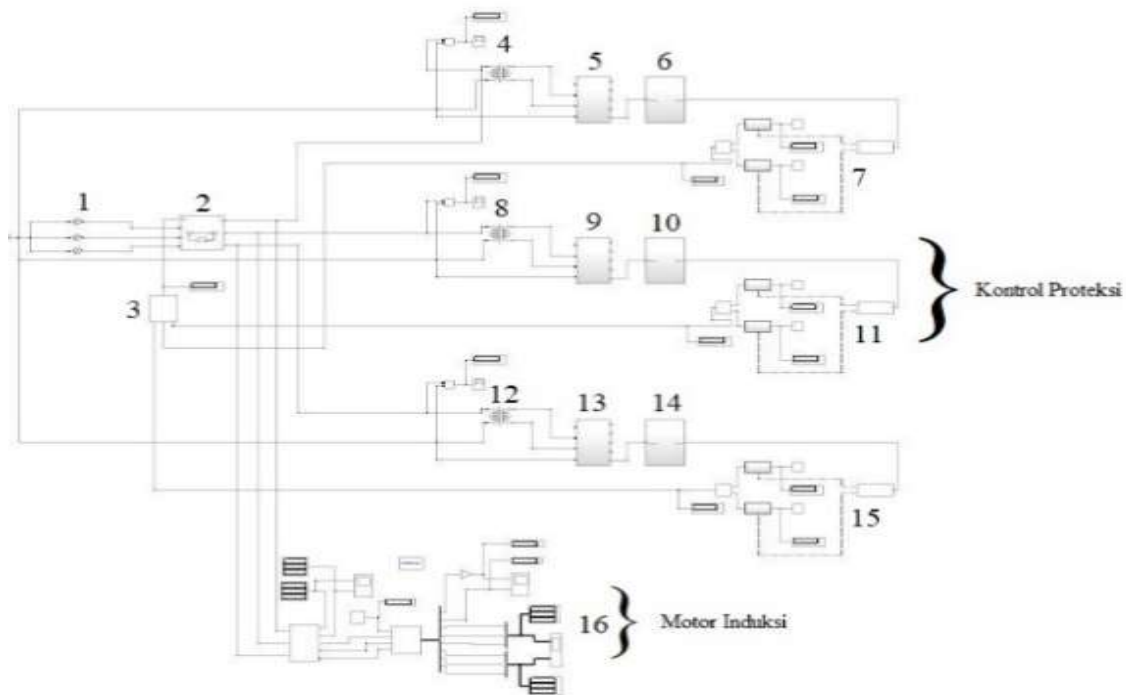
Gambar 7. Rangkaian Komparator Jendela

Keterangan;

1. Port
2. Solver configuration
3. 4. 5. 6. 7. 8 Resistor
9. 10. 11. Comparator
12. 13. 14. Dioda
15. 18. 20. Voltage sensor
16. 19. 21. Ps simlink converter
17. Logical operator NOT
22. 23. 25. Logical operator AND
24. 26. 27. Data type
28. Port

Komparator merupakan suatu rangkaian elektronik yang berfungsi sebagai pembanding tegangan *input*. Pada Gambar 7 terdapat tiga komparator yang digunakan

sebagai pembanding tegangan, di mana diantaranya sebagai komparator batas atas, komparator referensi batas tengah dan komparator batas bawah. Pada komparator batas atas dengan tegangan *input offset* sebesar 10,89 V dan dengan *output* 11 V yang berarti apabila besar tegangan yang masuk ke komparator batas atas melebihi 10,89 maka akan menyebabkan komparator mengeluarkan *output* sebelas (11). Pada komparator referensi atau batas tengah menggunakan *input offset* 5 V dan tegangan *output* 8 V dan pada komparator batas bawah menggunakan *input offset* 5 V dan tegangan *output* 4 V.



Gambar 8. Pemodelan Sistem Proteksi Motor Induksi 3 Fasa Apabila Mendapat Suplai Tegangan Tidak Seimbang

Keterangan;

1. *Ac voltage source*
2. *Three pass breaker*
3. *Logical operator*
4. 8. 12. *Linear transformer*
5. 9. 13 Merupakan subsistem dari penyearah gelombang berturut – turut fasa R, S dan T.
6. 10. 14 Merupakan subsistem dari komparator.
7. 11. 15 Merupakan rangkaian *if else* yang difungsikan untuk memilih *output* dari rangkaian komparator

Hasil dari pemodelan sistem proteksi motor induksi 3 fasa bila mendapat suplai tegangan tidak seimbang dapat dilihat pada Gambar 8, yang dimana terdapat tiga bagian pemodelan sistem proteksi motor, yaitu nomer 4 – 15 kemudian terdapat rangkaian motor induksi 3 fasa pada nomer 16 dan sumber tegangan pada nomer 1. Pemodelan sistem proteksi digunakan untuk mengamankan motor apabila mendapat suplai tegangan tidak seimbang.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Teknis

Pada simulasi terdapat 2 komponen utama, yaitu motor induksi 3 fasa dan *relay control phasa* (RCP). Data teknis dari motor

induksi 3 fasa dan RCP dapat dilihat pada Tabel 1 [9]

Tabel 1. Data Komponen Utama Pendukung

Motor Induksi 3 Fasa		RCP (<i>Relay Control Fasa</i>)	
Daya	15 KW	Tegangan	400V AC
Tegangan	400 V	Frekuensi	50/60 Hz
Frekuensi	50 Hz	<i>Tripping threshold</i>	5 – 25%
Kecepatan Putar Rotor	1460 RPM	<i>Time delay tripping</i>	0,3 s

4.2 Uji Coba Pemodelan

4.2.1 Uji coba pemodelan motor induksi 3 fasa

Dari rangkaian simulasi yang telah dibuat kemudian dilakukan uji coba mengenai pengaruh tegangan tidak seimbang terhadap karakteristik motor induksi 3 fasa khususnya efisiensi dan rugi – rugi motor dengan merubah suplai tegangan 3 fasa yang ada pada *AC Source Voltage* dengan perbedaan asimetri 10%, 15% dan 20%. Percobaan model pertama dilakukan penurunan atau *drop* tegangan pada salah satu fasa, sedangkan

percobaan yang kedua dilakukan *drop* tegangan pada ketiga fasa (R, S dan T) secara bersamaan. Hasil dari kedua percobaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3;

Tabel 2. Data Hasil Simulasi Motor Induksi 3 Fasa dengan Kondisi *Drop* Pada Salah Satu Fasa

Fasa	Asimetri Tegangan (%)	Tegangan (V)	Efisiensi (%)	Rugi – Rugi (W)
R,S,T	0	385	93,1	1110
R	10 <i>drop</i>	346,5	79,1	3991
S	15 <i>drop</i>	327,25	66,6	7512
T	20 <i>drop</i>	308	56,8	11406

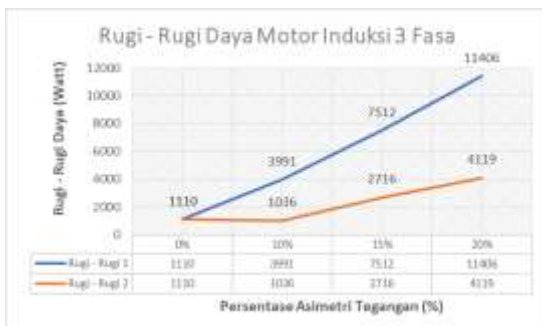
Tabel 3. Hasil Simulasi Sistem Proteksi Motor Induksi 3 Fasa dengan Kondisi *Drop* Ketiga Fasa

Fasa	Asimetri Tegangan (%)	Tegangan (V)	Efisiensi (%)	Rugi – Rugi (W)
R,S,T	0	385	93,1	1110
R,S,T	10 <i>drop</i>	346,5	93,5	1036
R,S,T	15 <i>drop</i>	327,25	84,6	2716
R,S,T	20 <i>drop</i>	308	78,4	4119

Dari Tabel 2 dan Tabel 3 dapat dijabarkan dalam grafik yang disajikan dalam gambar 9 dan 10



Gambar 9. Grafik Efisiensi Motor Induksi 3 Fasa



Gambar 10. Grafik Rugi – Rugi Daya Motor Induksi 3 Fasa

Dari Gambar 9 dan Gambar 10 didapatkan bahwa asimetri tegangan 3 fasa

sangat mempengaruhi efisiensi dan rugi – rugi daya motor induksi 3 fasa. Pengaruhnya terhadap efisiensi akan berdampak penurunan efisiensi motor yang berbanding terbalik dengan persentase asimetri tegangan, yaitu semakin besar persentase asimetri tegangan maka akan mengakibatkan semakin menurunnya efisiensi motor induksi 3 fasa. Pada rugi – rugi daya, semakin besar persentase asimetri tegangan menyebabkan semakin besarnya rugi – rugi daya pada motor induksi 3 fasa. Dari kedua jenis simulasi yang berbeda menghasilkan efisiensi yang berbeda pada setiap percobaan, hal ini karena perbedaan besar arus yang mengalir pada setiap belitan pada kondisi tegangan yang sama dengan percobaan *drop* tegangan, semakin tinggi asimetri tegangan pada masing – masing fasa akan menyebabkan semakin tingginya arus maka akan mengakibatkan efisiensi semakin kecil dan rugi – rugi semakin besar.

4.2.2 Uji coba pemodelan sistem proteksi motor induksi 3 fasa dari suplai tegangan tidak seimbang

Pengujian pemodelan sistem proteksi motor induksi 3 fasa dari suplai tegangan tidak seimbang dilakukan dengan memasukkan asimetri tegangan dengan kondisi *drop tegangan* sebesar 0%, 10%, dan 15% serta untuk kondisi *over voltage* sebesar 5% dan 5,263%

Tabel 4 Hasil Simulasi Sistem Proteksi Motor Induksi 3 Fasa Dari Tegangan Tidak Seimbang

Asimetri tegangan (%)	Tegangan (V)	Fasa	Breaker (ON/OFF F)	Time Tripping (s)
0	380	R,S,T	OFF	-
<i>Under</i> 10	293,88	R	OFF	-
<i>Under</i> 15	277,55	S	ON	0,201
<i>Over</i> 5	399	T	OFF	-
<i>Over</i> 5,263	400	T	ON	0,306

Pada Tabel 4 dapat diamati hasil simulasi dari sistem proteksi motor induksi 3 fasa adalah pada percobaan pertama yaitu dengan tegangan normal 380 V simulasi memberikan suplai tegangan ke motor tanpa adanya pemutusan tegangan. Pada percobaan kedua dengan kondisi *drop voltage* sebesar 10% pada fasa R dengan tegangan 293,88 tidak menyebabkan *trip* pada *breaker*.

Percobaan ketiga dengan kondisi *drop voltage* sebesar 15% pada fasa S dengan tegangan 277,55 V menyebabkan *trip* nya *breaker* pada detik ke 0,201s. Pada percobaan yang ke empat dengan kondisi *over voltage* sebesar 5% (399 V) yang dimasukkan pada fasa T tidak menyebabkan *trip* pada *breaker*. Pada percobaan yang terakhir dengan kondisi *over voltage* sebesar 5,263% (400 V) menyebabkan *trip* nya *breaker* pada detik ke 0,306s

Pola pengamanan motor induksi 3 fasa bila mendapat suplai tegangan tidak seimbang adalah dengan menggunakan sistem proteksi tegangan tidak seimbang yang mempunyai *time delay tripping* yang cepat. Hal itu dapat dibuktikan dengan perhitungan kondisi *drop* tegangan sebesar 15% dengan *time delay tripping* sebesar 0,201 s adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} 1 \text{ Watt} &= 1 \text{ Joule/second} \\ 22\ 690 \text{ Watt} &= 22\ 690 \text{ Joule/second} \\ 22\ 690 \text{ Watt} &= \text{Joule}/0,201 \text{ second} \\ &= 4\ 560,69 \text{ Joule} \\ &= 4\ 560,69 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Jadi apabila sistem proteksi *trip* pada 0,201 s maka akan mengurangi rugi – rugi daya sebesar $22\ 690 - 4\ 560,69 = 18\ 129,31$ Watt atau $18\ 129,31$ Joule/second

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dari hasil simulasi dapat disimpulkan:

1. Efisiensi terendah dan rugi-rugi terbesar didapatkan pada kondisi *drop* tegangan 20% atau 308 V, yaitu sebesar 56,8% dan 11 406 Watt. Untuk efisiensi tertinggi, didapatkan pada kondisi asimetri tegangan sebesar 0% atau 385 V yaitu sebesar 93,1% dan rugi – rugi 1 110 Watt untuk kedua model percobaan.
2. Proteksi dapat *tripping* pada persentase asimetri 15% atau pada tegangan 277,55V dengan *time delay tripping* 0,201s pada kondisi *drop voltage*. Pada kondisi *over voltage* dengan asimetri 5,263% atau pada tegangan 400 V sistem proteksi melakukan *tripping* pada detik 0,306s. Berdasarkan hasil perhitungan semakin cepat *time tripping* dari sistem pengaman akan semakin berdampak baik bagi motor induksi 3 fasa, khususnya efisiensi dan rugi – rugi.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Harahap, P. 2016. Pengaruh Jatuh Tegangan Terhadap Kerja Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Simulink Matlab. Medan: Universitas Muhamadiyah Sumatera Utara.
- [2] Setiawan, P. 2019. Analisis Pengaruh Tegangan Tidak Seimbang pada Kinerja Motor Induksi Menggunakan Metode Transformasi Direct Qudrature. Yogyakarta: Departemen Aeronautika
- [3] Saputra, M., Amien, S. 2014. Analisis Pengaruh Jatuh Tegangan Terhadap Kinerja Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Belitan. Medan: DTE FT USU
- [4] Sukmadi, T., Christyono, Y. 2013. Pengasutan Balik Putaran Motor Induksi 3 Fasa Berbasis *Sms Controller* Menggunakan Bahasa Pemrograman Bascom. Semarang: Universitas Diponegoro Semarang.
- [5] Kuswoyo, V. 2016. Sistem Proteksi Motor Induksi 3 Fasa Dari Gangguan Tidak Seimbang dan Temperatur Lebih Menggunakan Mikrokontroler. (Skripsi). Bandar Lampung: Universitas Lampung
- [6] Prasetijo, H. 2013. Analisis Pengaruh *Unbalance Under Voltage* dan *Unbalance Over Voltage* Terhadap Kinerja Motor Induksi Tiga Fasa. Purwokerto: Universitas Jendral Soedirman.
- [7] S. Sudibyo, M. K. A. Rosa, dan A. Herawati. 2016. Analisis Efisiensi Motor Induksi Pada Kondisi Tegangan *Non Rating* Dengan Metode Segregated Loss. *Teknosia*, vol. 2, no. 17, pp. 32–40.
- [8] Pratama, A. K., Zondra, E., dan Yuvendius, H. 2020. Analisis Efisiensi Motor Induksi Tiga Fasa Akibat Perubahan Tegangan. *Jurnal Sains Energi, Teknologi & Industri*. Pekanbaru: Universitas Lancang Kuning Pekanbaru.
- [9] *Schneider*. 2018. *Product Datasheet Characteristics A9E21180 phase control relay iRCP - 8 A - 400 V 50/60Hz -1 OC*