

MAKALAH SEMINAR TUGAS AKHIR

Simulasi Kerusakan Thyristor Pada Penyearah Tiga Fasa Terkontrol Dengan Beban RLC

Oleh : Haikal (L2F 300 527)
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Diponegoro Semarang

Abstrak

Sumber tegangan DC sangat banyak digunakan di pabrik-pabrik dan alat transportasi, salah satunya adalah digunakan pada pengaturan motor DC. Salah satu cara untuk mendapatkan tegangan DC yaitu dengan merubah sumber tegangan AC menjadi tegangan DC yang dapat diatur tegangan keluarannya. Penyearah yang sering digunakan adalah penyearah tiga fasa terkontrol penuh.

Dalam Tugas Akhir ini, dilakukan simulasi untuk mengamati kerusakan pada thyristor dalam suatu rangkaian penyearah tiga fasa terkontrol penuh, dengan beban yang digunakan yaitu antara resistif, induktif, dan kapasitif. Berdasarkan hasil simulasi diperoleh bahwa kerusakan pada thyristor akan memperkecil tegangan keluaran dan arus beban, memperbesar THD yang akhirnya akan memperkecil faktor daya.

Faktor-faktor yang mempengaruhi bentuk gelombang keluaran dan arus beban adalah besarnya tegangan masukan, perubahan frekuensi masukan, perubahan sudut picu thyristor, besarnya beban, dan kondisi masing-masing thyristor.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada dunia industri sekarang ini kebutuhan akan sumber DC semakin meningkat, diantaranya untuk mensuplai beban DC seperti motor yang banyak digunakan pada pabrik-pabrik dan alat transportasi. Ada berbagai cara untuk mendapatkan tegangan DC, dan penyearah. Dalam Tugas Akhir ini akan membahas penggunaan penyearah jembatan terkontrol penuh tiga fasa.

Penyearah tiga fasa sering dijumpai secara luas untuk berbagai aplikasi pada bidang industri. Dalam penggunaan penyearah ini perlu dilakukan pertimbangan lebih jauh, karena penyearah ini akan menghasilkan harmonisa pada sisi masukan, yang pada akhirnya akan mempengaruhi sistem tenaga listrik. Disamping itu tegangan yang rata pada keluaran merupakan hal lain yang perlu dipertimbangkan.

Keluaran dari penyearah akan dipengaruhi oleh besarnya tegangan masukan, frekuensi masukan, sudut picu dari masing-masing thyristor, dan kondisi masing-masing thyristor. Dalam Tugas Akhir ini akan mensimulasikan dan menganalisa faktor-faktor yang mempengaruhi kerja penyearah di atas, baik penyearah dalam keadaan normal maupun gangguan. Yang dimaksud keadaan gangguan yaitu kondisi thyristor penyusunnya dalam keadaan hubung singkat atau hubung buka.

Beban yang digunakan dalam simulasi ini adalah beban RLC yaitu beban yang dikombinasikan antara resistansi, induktansi, dan kapasitansi yang terhubung seri. Besarnya beban akan mempengaruhi konduksi arus dari penyearah

Simulasi pada Tugas Akhir ini menggunakan program Pspice versi 6.2. Hasil dari simulasi ini berupa

bentuk gelombang tegangan dan arus keluaran dari penyearah.

1.2 Tujuan

1. Mensimulasikan penyearah jembatan terkontrol penuh tiga fasa dengan beban RLC dalam berbagai variasi kondisi dari thyristor penyusunnya (normal, hubung buka, dan hubung singkat).
2. Menganalisa tegangan dan arus keluaran dari penyearah dengan beban RLC dalam berbagai variasi kondisi dari thyristor penyusunnya (normal, hubung buka, dan hubung singkat).
3. Menganalisa pengaruh perubahan tegangan masukan, sudut picu, dan frekuensi.

1.3. Pembatasan Masalah

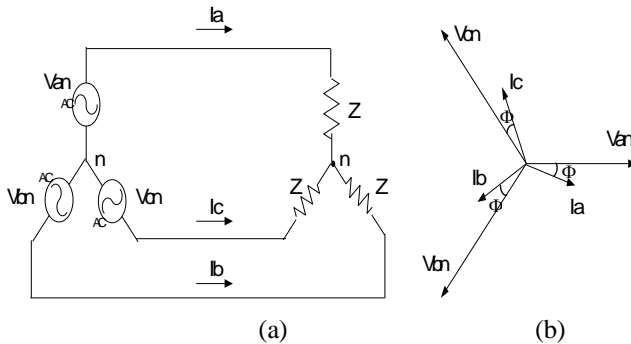
1. Rangkaian penyearah tiga fasa ini menggunakan rangkaian penyearah jembatan terkontrol penuh.
2. Tidak membahas filter.
3. Tegangan masukan adalah tegangan AC gelombang sinusoidal murni.
4. Beban yang digunakan adalah beban RLC yang terhubung seri.
5. Pemrograman komputer menggunakan Pspice.

II. DASAR TEORI

2.1 Sumber Tegangan Tiga Fasa

Hampir semua listrik yang digunakan oleh industri, dibangkitkan, ditransmisikan, dan didistribusikan dalam sistem tiga fasa. Sistem tiga fasa ini memiliki besar yang sama (untuk arus dan tegangan) tetapi mempunyai perbedaan sudut sebesar 120° antar fasanya. Sumbu ini disebut juga sumbu yang seimbang.

Apabila sumber mensuplai sebuah beban seimbang, maka arus-arus yang mengalir pada masing-masing penghantar akan memiliki besar yang sama dan berbeda sudut fasa sebesar 120° satu sama lain. Arus-arus ini disebut arus seimbang.



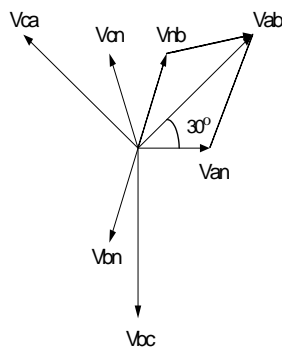
Gambar 2.1 (a) Rangkaian sistem tiga fasa urutan abc, (b) Diagram fasor sebuah sistem seimbang

Sistem pada gambar 2.1 disebut sistem urutan *abc*, di mana fasa *b* tertinggal 120° terhadap fasa *a*, dan fasa *c* tertinggal 120° terhadap fasa *b*. Hanya satu kemungkinan urutan lagi selain urutan *abc*, yaitu urutan *acb*. Beban pada gambar 2.1a dihubungkan dengan cara hubungan Y. Dalam hubungan tipe Y ini tegangannya adalah tegangan kawat netral dan arus yang mengalir pada tiap fasa beban adalah arus kawat. Tegangan antara masing-masing kawat (saluran) dapat dihitung sebagai berikut:

$$V_{ab} = V_{an} + V_{nb} = V_{an} - V_{bn}$$

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

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



Gambar 2.2 Diagram fasor tegangan kawat urutan abc

Untuk sistem seimbang, maka masing-masing tegangan fasa mempunyai besar magnitude yang sama, maka:

$$V_{an} = V_{bn} = V_{cn} = V_f$$

Dengan V_f adalah harga efektif dari nilai magnitude tegangan fasa.

Jadi,

$$V_{an} = V_f \angle 0^\circ$$

$$V_{bn} = V_f \angle -120^\circ$$

$$V_{cn} = V_f \angle -240^\circ = V_f \angle 120^\circ$$

Dengan menggunakan persamaan tersebut, maka persamaan (2.1) menjadi:

$$V_{ab} = \sqrt{3} V_f \angle 30^\circ$$

$$V_{bc} = \sqrt{3} V_f \angle -90^\circ$$

$$V_{ca} = \sqrt{3} V_f \angle 150^\circ$$

Dari hasil di atas terlihat bahwa saluran tersebut membentuk suatu sistem tiga fasa yang seimbang dengan magnitudenya adalah $\sqrt{3}$ kali magnitude dari tegangan fasa.^[12]

Daya yang digunakan pada masing-masing fasa pada beban adalah:

$$P_{1\phi} = |V_{L-N}| I_1 \cos \phi$$

di mana:

I_1 = arus I_a

$\cos \phi$ = faktor daya

untuk sistem yang seimbang, daya total yang dipergunakan adalah:

$$P_T = P_{3\phi} = 3 |V_{L-N}| I_1 \cos \phi$$

$$= 3 \frac{V_{L-L}}{\sqrt{3}} I_1 \cos \phi$$

$$= \sqrt{3} V_{L-L} I_1 \cos \phi$$

di mana:

V_{L-L} = tegangan fasa ke fasa

I_1 = arus fasa ke fasa

2.2 Rangkaian Penyearah Tiga Fasa Terkontrol Penuh (2.1)

(2.2)

Penyearah tiga fasa sering digunakan pada banyak aplikasi di industri untuk pengendalian motor listrik. Pada rangkaian penyearah tiga fasa terkontrol gelombang penuh menggunakan 6 buah thyristor terhubung seri, dengan sumber tegangan tiga fasa terhubung bintang (*star*), dan dihubungkan dengan beban induktif.

Rangkaian ini dikenal dengan sebagai jembatan tiga fasa. Thyristor dinyalakan pada interval $\pi/3$. Frekuensi ripple tegangan keluaran akan $6f_s$ dan kebutuhan proses filtering menjadi lebih ringan dari konverter gelombang setengah maupun semikonverter tiga fasa. Pada $\omega t = \pi/6 + \alpha$, thyristor T_6 telah tersambung dan thyristor T_1 akan dinyalakan.

Selama interval $(\pi/6 + \alpha) \leq \omega t \leq (\pi/2 + \alpha)$, thyristor T_1 dan T_6 tersambung dan tegangan line to line $V_{ab} = (V_{an} - V_{bn})$ akan muncul sepanjang beban.

Jika tegangan line to neutral didefinisikan sebagai:

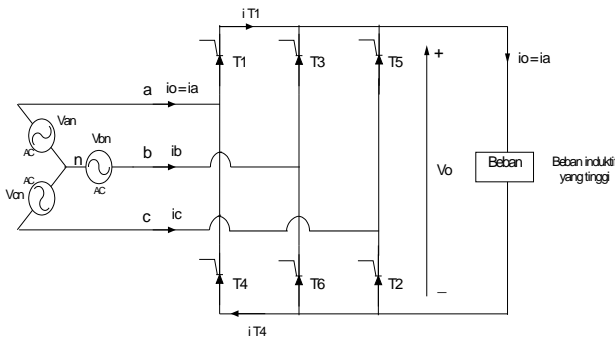
$$V_{an} = V_M \sin \omega t$$

$$V_{bn} = V_M \sin \left[\omega t - \frac{2\pi}{3} \right]$$

$$V_{cn} = V_M \sin \left[\omega t - \frac{4\pi}{3} \right]$$

(2.5)

(2.6)



Gambar 2.3 Rangkaian penyearah gelombang penuh dengan beban induktif.

Tegangan line to line yang bersesuaian akan diperoleh sebagai:

$$V_{ab} = V_{an} - V_{bn} = \sqrt{3} V_M \sin \left[\omega t + \frac{\pi}{6} \right]$$

$$V_{bc} = V_{bn} - V_{cn} = \sqrt{3} V_M \sin \left[\omega t - \frac{\pi}{2} \right]$$

$$V_{ca} = V_{cn} - V_{an} = \sqrt{3} V_M \sin \left[\omega t + \frac{5\pi}{6} \right]$$

Tegangan keluaran rata-rata diperoleh dari:

$$\begin{aligned} V_{dc} &= \frac{3}{\pi} \int_{\pi/6+\alpha}^{\pi/2+\alpha} V_{ab} d(\omega t) \\ &= \frac{3}{\pi} \int_{\pi/6+\alpha}^{\pi/2+\alpha} \sqrt{3} V_M \sin \left[\omega t + \frac{\pi}{6} \right] d(\omega t) \\ &= \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_M \cos \alpha \end{aligned}$$

Tegangan keluaran rata-rata maksimum untuk sudut penyalan, $\alpha = 0$

$$V_{dm} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_M$$

Nilai rms tegangan keluaran akan diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_{rms} &= \left[\frac{3}{\pi} \int_{\pi/6+\alpha}^{\pi/2+\alpha} 3 V_M^2 \sin^2 \left[\omega t + \frac{\pi}{6} \right] d(\omega t) \right]^{1/2} \\ &= \sqrt{3} V_M \left[\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi} \cos 2\alpha \right]^{1/2} \end{aligned}$$

2.3 Perhitungan untuk arus beban dengan beban RL

Untuk menentukan arus beban penyearah tiga fasa terkontrol penuh dengan menentukan tegangan keluarannya:

$$v_o = v_{ab} = \sqrt{2} V_{ab} \sin \left[\omega t + \frac{\pi}{6} \right]$$

$$\text{untuk } \frac{\pi}{6} + \alpha \leq \omega t \leq \frac{\pi}{2} + \alpha$$

$$v_{ab} = \sqrt{2} V_{ab} \sin \omega t \text{ untuk } \frac{\pi}{3} + \alpha \leq \omega t' \leq \frac{2\pi}{3} + \alpha$$

dengan $\omega t' = \omega t + \frac{\pi}{6}$, dan V_{ab} adalah tegangan rms masukan fasa ke fasa, pemilihan v_{ab} sebagai tegangan acuan waktu, arus beban dapat diperoleh dari:

$$L \frac{di_L}{dt} + Ri_L + E = \sqrt{2} V_{ab} \sin \omega t'$$

$$\text{untuk } \frac{\pi}{3} + \alpha \leq \omega t' \leq \frac{2\pi}{3} + \alpha$$

maka:

$$i_L = \frac{\sqrt{2} V_{ab}}{Z} \sin(\omega t' - \theta) - \frac{E}{R} + \left[I_{L1} + \frac{E}{R} - \frac{\sqrt{2} V_{ab}}{Z} \sin \left[\frac{\pi}{3} + \alpha - \theta \right] \right] e^{-\left[\frac{R}{L} \right] \left[\frac{\pi/3+\alpha}{\omega} - t' \right]}$$

dengan $Z = [R^2 + (\omega L)^2]^{1/2}$ dan $\theta = \tan^{-1}(\omega L/R)$

Pada keadaan tunak, $I_L \left[\omega t' = \frac{2\pi}{3} + \alpha \right]$

$$= I_L \left[\omega t' = \frac{\pi}{3} + \alpha \right] = I_{L1}$$

Penerapan kondisi ini ke persamaan di atas maka akan diperoleh I_{L1} :

$$I_{L1} = \frac{\sqrt{2} V_{ab}}{Z} \frac{\sin(2\pi/3 + \alpha - \theta) - \sin(\pi/3 + \alpha - \theta) e^{-(R/L)(\pi/3\omega)}}{1 - e^{-(R/L)(\pi/3\omega)}} - \left[\frac{E}{R} \right] \quad (2.25)$$

Arus rms dari thyristor dapat ditentukan yaitu:

$$I_R = \left[\frac{1}{2\pi} \int_{\pi/3+\alpha}^{2\pi/3+\alpha} i_L^2 d(\omega t) \right]^{1/2}$$

Arus keluaran rms dapat ditentukan yaitu:

$$I_{rms} = \sqrt{3} I_R$$

Arus rata-rata thyristor dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$I_A = \frac{1}{2\pi} \int_{\pi/3+\alpha}^{2\pi/3+\alpha} i_L d(\omega t)$$

Arus keluaran beban rata-rata adalah:

$$I_{dc} = 3 I_A$$

(2.19)

III. PERANCANGAN SIMULASI

3.1 Algoritma Pemrograman

Algoritma pemrograman dari simulasi penyearah jembatan terkontrol penuh dengan menggunakan pemrograman Pspice adalah sebagai berikut:

1. Menentukan bentuk rangkaian penyearah jembatan terkontrol penuh dan menentukan *node* (titik) pada tiap komponen yang menyusunnya.
2. Membuat *listing program* dengan memperhatikan gambar rangkaian yang dilengkapi dengan *node* yang telah dibuat pada algoritma 1.
3. Membuat gambar tegangan dan arus keluaran, serta analisa fourier hasil dari pemrograman Pspice.

3.2 Langkah-Langkah Pemrograman Simulasi dengan Pspice

Pada umumnya penyusunan daftar program Pspice disusun berdasarkan pada sifat rangkaian listrik. Setiap titik (*node*) diberi indeks tertentu. Pemberian indeks didasarkan pada level tegangan antara dua titik dan seterusnya. Untuk menentukan besarnya arus pada setiap jalur (*line*) dapat ditentukan melalui komponen yang terhubung seri.

Sebagai contoh:

1. Tegangan sumber 3 fasa dinyatakan dengan
`VAN 14 0 SIN(0 169.7V 60HZ)`
`VBN 2 0 SIN(0 169.7V 60HZ 0 0 -120DEG)`
`VCN 3 0 SIN(0 169.7V 60HZ 0 0 +120DEG)`

2. Beban rangkaian didefinisikan sebagai:

```
Rload 4 6 5
Lload 6 7 6.5mH
Cload 7 15 10uF
```

3. Penentuan sudut picu

Untuk sudut picu 60° , penulisan pada Pspice adalah sebagai berikut:

$$\text{Waktu tunda } t_1 = \frac{90}{360} \times \frac{1000}{60\text{Hz}} \times 1000 = 4166,7 \mu\text{s}$$

$$\text{Waktu tunda } t_3 = \frac{210}{360} \times \frac{1000}{60\text{Hz}} \times 1000 = 9722,2 \mu\text{s}$$

$$\text{Waktu tunda } t_5 = \frac{330}{360} \times \frac{1000}{60\text{Hz}} \times 1000 = 15277,8 \mu\text{s}$$

$$\text{Waktu tunda } t_2 = \frac{150}{360} \times \frac{1000}{60\text{Hz}} \times 1000 = 6944,4 \mu\text{s}$$

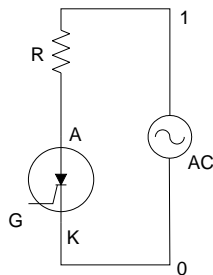
$$\text{Waktu tunda } t_4 = \frac{270}{360} \times \frac{1000}{60\text{Hz}} \times 1000 = 12500 \mu\text{s}$$

$$\text{Waktu tunda } t_6 = \frac{30}{360} \times \frac{1000}{60\text{Hz}} \times 1000 = 1388,9 \mu\text{s}$$

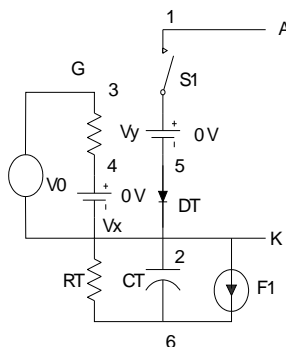
4. Rangkaian thyristor didefinisikan sebagai:

```
XT1 1 4 8 4 SCR
XT3 2 4 9 4 SCR
XT5 3 4 10 4 SCR
XT2 5 3 11 3 SCR
XT4 5 1 12 1 SCR
XT6 5 2 13 2 SCR
```

Khusus untuk komponen thyristor perlu didefinisikan dalam suatu sub program berdasarkan rangkaian berikut:



Gambar 3.1 Rangkaian Thyristor



Gambar 3.2 Pemodelan Thyristor

Berdasarkan gambar pemodelan rangkaian thyristor pada gambar 3.2 selanjutnya program model thyristor disusun sebagai berikut:

*Pemodelan Thyristor

```
.SUBCKT SCR 1 2 3 2
S1 1 5 6 2 SMOD
RSNUB 1 8 200.0
CSNUB 8 2 1UF
RG 3 4 50
VX 4 2 DC 0V
VY 5 7 DC 0V
DT 7 2 DMOD
RT 6 2 1
CT 6 2 10UF
F1 2 6 POLY(2) VX VY 0 50 11
```

```
.MODEL SMOD VSSWITCH (RON=0.0105
ROFF=10E+5 VON=0.5 VOFF=0V)
```

```
.MODEL DMOD D(1S=2.2E-15
BV=1200V TT=0 CJO=0)
```

```
.ENDS SCR
```

Pada contoh yang diberikan di atas, digunakan superdioda dengan parameter $IS = 2.2 \text{ E-15}$, $BV = 1200 \text{ V}$, $TT = 0$, dan $CJO = 0$, dan parameter $R_{ON} = 0.0015$, $R_{OFF} = 10 \text{ E+5}$, $V_{ON} = 0.5 \text{ V}$, dan $V_{OFF} = 0 \text{ V}$.

5. Penentuan besarnya arus

Penentuan besarnya arus pada cabang tertentu dapat dilakukan dengan memasang sumber tegangan arus searah DC pada line yang akan diukur.

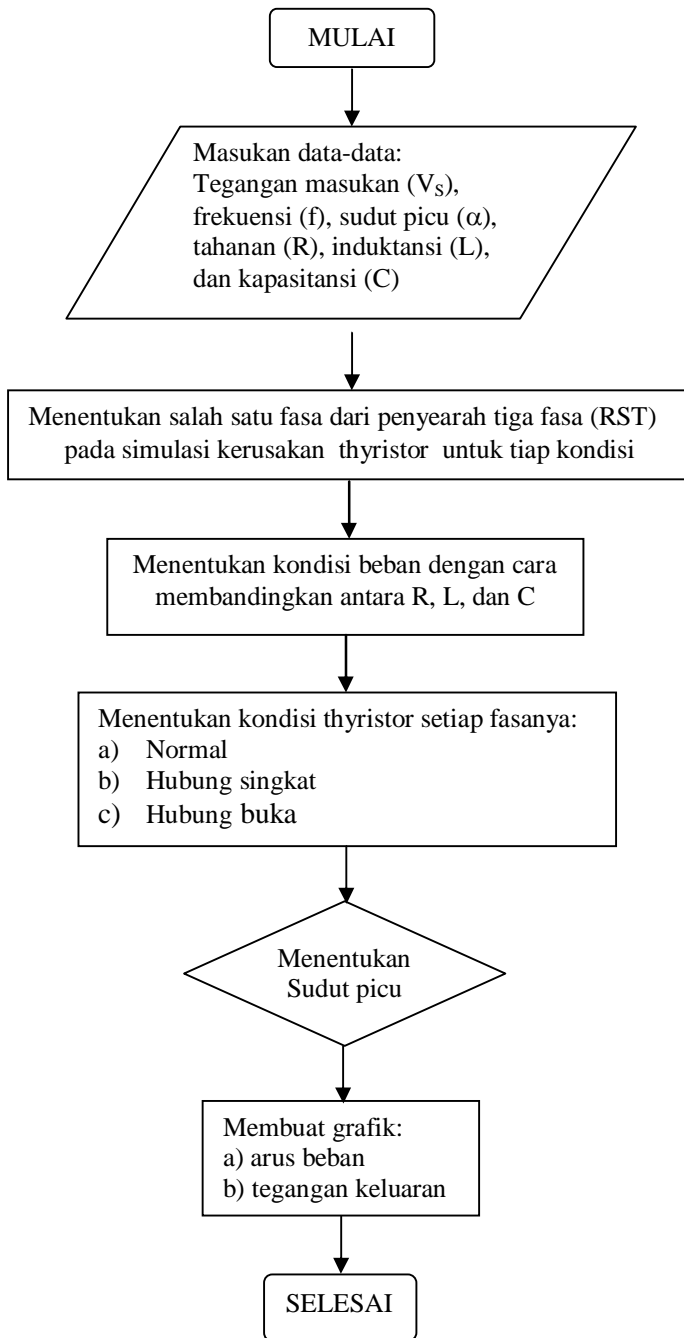
Contoh:

```
VY1 14 1 DC 0V
```

6. Penentuan besarnya tegangan

Penentuan besarnya tegangan dapat langsung dilakukan berdasarkan titik (node) pada ujung pangkal komponen.

3.3. Diagram Alir Pemrograman



Gambar 3.3 Diagram alir pemrograman

IV. PENGUJIAN DAN ANALISA PROGRAM SIMULASI

4.1 Simulasi dengan Pspice

Untuk membuat simulasi dengan Pspice ini, terlebih dahulu kita harus menginstal Microsim Eval 6.2. Kita dapat menjalankan Pspice dengan mengklik icon Pspice hasil dari instalasi tadi.

Listing Program Pspice seperti yang telah dicontohkan pada bab sebelumnya, kita simpan dalam file berekstensi *.cir*. Untuk mensimulasikan file tersebut, dari tampilan awal kita dapat memilih *open* dari toolbar *file* dan akan muncul tampilan, dari sini kita bisa memilih file mana yang akan kita simulasikan. Apabila file yang kita simulasikan berhasil akan kita lihat informasi.

Keluaran dari simulasi menggunakan Pspice ini ada 2 macam yaitu grafik (dengan memilih *Run Probe*) dan data berupa analisa *Fourier* (dengan memilih *Examine Output*). Jika kita memilih *Run Probe* akan muncul tampilan, dan untuk mengamati tegangan atau arus yang kita inginkan kita dapat menambahkan *trace* dan memilih titik mana yang akan kita mati. Apabila *Examine output* yang kita pilih kita dapat melihat analisa Fourier dari rangkaian yang kita simulasikan, output ini secara otomatis tersimpan dalam file *namafile.out*.

4.2 Hasil Simulasi dan Analisis

Pada analisis hasil simulasi ini akan dibahas pengaruh tegangan masukan, tegangan keluaran, arus beban, bebannya adalah (resistansi R, induktansi L, dan kapasitansi C), serta pengaruh kerusakan SCR terhadap keluaran penyearah. Pada Tugas Akhir ini menitikberatkan pengaruh kerusakan SCR terhadap kerja penyearah, mulai dari tegangan yang dihasilkan, arus yang dialirkan, harmonisa yang ditimbulkan, serta akibat lain yang ditimbulkan karena kerusakan SCR.

4.2.1 Analisis Pengaruh Kondisi SCR dan Perbandingan Beban Terhadap Keluaran Penyearah

Analisa gelombang:

❖ Kondisi semua SCR normal

Pada rangkaian penyearah tiga fasa terkontrol gelombang penuh menggunakan 6 buah SCR terhubung seri, dengan sumber tegangan tiga fasa terhubung bintang (*star*).

Jika SCR dinyalakan pada interval $\pi/3$. Frekuensi ripple tegangan keluaran akan $6f_s$. Pada $\omega t = \pi/6 + \alpha$, SCR T_6 telah tersambung dan SCR T_1 akan dinyalakan. Selama interval $(\pi/6 + \alpha) \leq \omega t \leq (\pi/2 + \alpha)$, SCR T_1 dan T_6 tersambung dan tegangan line to line $V_{ab} = (V_{an} - V_{bn})$ akan muncul sepanjang beban dan kembali ke sumber, pada siklus berikutnya SCR T_3 dan T_2 tersambung, SCR T_5 dan T_4 juga tersambung tegangan line to line $V_{bc} = (V_{bn} - V_{cn})$, $V_{ca} = (V_{cn} - V_{an})$ akan muncul sepanjang beban dan kembali ke sumber, Jika SCR diberi nomer barisan penyalan, maka akan menjadi 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, dan 6-1.

❖ Kondisi SCR1 hubung buka

Pada rangkaian penyearah tiga fasa terkontrol gelombang penuh menggunakan 6 buah SCR terhubung seri, dengan sumber tegangan tiga fasa terhubung bintang (*star*).

Jika SCR dinyalakan pada interval $\pi/3$. Frekuensi ripple tegangan keluaran akan $6f_s$. Pada $\omega t = \pi/6 + \alpha$, SCR T_6 telah tersambung tetapi kondisi SCR T_1 terhubung buka maka tidak ada arus yang mengalir ke beban karena T_1 yang bersifat bias mundur, pada siklus berikutnya yaitu selama interval $(\pi/2 + \alpha) \leq \omega t \leq (5\pi/6 + \alpha)$ yaitu saat T_2 mulai dipicu maka tegangan line to line $V_{ac} = (V_{an} - V_{cn})$ akan sama dengan nol karena kondisi T_1 yang tidak terhubung sampai siklus selanjutnya yaitu pada saat T_3

dipicu. Selama interval $(5\pi/6+\alpha) \leq \omega t \leq (3\pi/2)$, SCR T_2 dan T_3 dipicu maka tegangan line to line $V_{bc} = (V_{bn} - V_{cn})$ akan muncul sepanjang beban, pada siklus berikutnya yaitu selama interval $(3\pi/2) \leq \omega t \leq (3\pi/2+\alpha)$, SCR T_3 dan T_4 tersambung dan T_4 dipicu maka tegangan line to line $V_{ba} = (V_{bn} - V_{an})$ akan muncul sepanjang beban. Selama interval $(3\pi/2 + \alpha) \leq \omega t \leq (11\pi/6+\alpha)$, SCR T_4 dan T_5 dipicu maka tegangan line to line $V_{ca} = (V_{cn} - V_{an})$ akan muncul sepanjang beban, pada siklus berikutnya yaitu selama interval $(11\pi/6+\alpha) \leq \omega t \leq (5\pi/2+\alpha)$, SCR T_5 dan T_6 tersambung dan T_6 dipicu maka tegangan line to line $V_{cb} = (V_{cn} - V_{bn})$ akan muncul sepanjang beban. Jika SCR diberi nomer barisan penyalaan, maka akan menjadi 3-4, 4-5, 5-6, dan 6-1.

Dari berbagai bentuk gelombang tegangan keluaran di atas dapat kita lihat bahwa tegangan keluaran penyearah pada kondisi normal lebih besar dari pada tegangan keluaran pada penyearah dengan kondisi gangguan. Jadi dapat dikatakan bahwa kerusakan thyristor dapat menurunkan tegangan keluaran dari penyearah.

a. Perhitungan untuk tegangan keluaran rata-rata:

$$\begin{aligned} V_{dc} &= \frac{3}{\pi} \int_{\pi/6+\alpha}^{\pi/2+\alpha} V_{ab} d(\omega t) \\ &= \frac{3}{\pi} \int_{\pi/6+\alpha}^{\pi/2+\alpha} \sqrt{3} V_M \sin \left[\omega t + \frac{\pi}{6} \right] d(\omega t) \\ &= \frac{3\sqrt{3} V_M}{\pi} \cos \alpha \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{diketahui: } V_M &= 169,7 \text{ Volt} \\ \cos \alpha &= 60^\circ \\ f &= 60 \text{ Hz} \end{aligned}$$

ditanya: V_{dc}
jawab:

$$\begin{aligned} V_{dc} &= \frac{3\sqrt{3} V_M}{\pi} \cos \alpha \\ &= \frac{3\sqrt{3} 169,7}{3,14} \cos 60^\circ \\ &= 140,41 \text{ Volt} \end{aligned}$$

b. Nilai rms dari tegangan keluaran adalah:

$$\begin{aligned} V_{rms} &= \left[\frac{3}{\pi} \int_{\pi/6+\alpha}^{\pi/2+\alpha} 3V_M^2 \sin^2 \left[\omega t + \frac{\pi}{6} \right] d(\omega t) \right]^{1/2} \\ &= \sqrt{3} V_M \left[\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi} \cos 2\alpha \right]^{1/2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{diketahui: } V_M &= 169,7 \text{ Volt} \\ \cos \alpha &= 60^\circ \\ f &= 60 \text{ Hz} \end{aligned}$$

ditanya: V_{rms}
jawab:

$$\begin{aligned} V_{rms} &= \sqrt{3} V_M \left[\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi} \cos 2\alpha \right]^{1/2} \\ &= \sqrt{3} \times 169,7 \left[\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{12,56} \cos 120^\circ \right]^{1/2} \\ &= 159,14 \text{ Volt} \end{aligned}$$

c. Perhitungan untuk arus beban dengan beban R:

$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{R}$$

$$I_{dc} = \frac{V_{dc}}{R}$$

Untuk kondisi normal dengan beban R

$$\begin{aligned} \text{diketahui: } V_{rms} &= 159,14 \text{ Volt} \\ V_{dc} &= 140,41 \text{ Volt} \\ R &= 5 \text{ ohm} \end{aligned}$$

ditanya: I_{rms} dan I_{dc}

jawab:

$$\begin{aligned} I_{rms} &= \frac{V_{rms}}{R} \\ &= \frac{159,14}{5} \\ &= 31,83 \text{ Amp} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{dc} &= \frac{V_{dc}}{R} \\ &= \frac{140,41}{5} \\ &= 28,08 \text{ Amp} \end{aligned}$$

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Gelombang antara tegangan keluaran dan arus beban pada penyearah tiga fasa terkontrol penuh pada kondisi semua thyristor normal akan berbeda dengan saat terjadi gangguan. Karena pada kondisi normal tegangan keluaran mempunyai ripple $6f_s$, sedangkan pada kondisi gangguan tidak $6f_s$ (tergantung dari gangguannya).
2. Tegangan keluaran dan arus beban pada penyearah tiga fasa terkontrol penuh pada kondisi thyristor normal akan lebih besar dibandingkan pada kondisi gangguan. Karena pada kondisi normal tegangan keluaran mempunyai ripple $6f_s$, sedangkan pada kondisi gangguan tidak $6f_s$ (tergantung dari gangguannya).
3. Perubahan sudut picu akan mempengaruhi tegangan keluaran rata-rata, semakin besar sudut picu maka akan semakin kecil tegangan keluaran rata-rata.
4. Perubahan frekuensi masukan tidak akan mempengaruhi tegangan keluaran, tetapi hanya mempengaruhi impedansi sehingga akan menimbulkan perubahan pada arus beban dan jumlah gelombang dalam siklus per detik.

5.2 Saran

1. Beban diganti dengan motor sehingga kita dapat mengetahui pengaruh kerusakan thyristor terhadap pengemudian motor DC.
2. Tegangan dan arus yang diamati tidak hanya pada sisi keluaran saja akan tetapi dengan melihat kondisi penyearah secara keseluruhan.
3. Simulasi gangguan tidak hanya terjadi pada salah satu fasa saja, tetapi terjadi pada ketiga fasa.

DAFTAR PUSTAKA

1. Hayt William H., Jr Jack Kemmerly, Pantur Silaban, *Rangkaian Listrik Jilid 1*, Erlangga, 1987.
2. Hayt William H., Jr Jack Kemmerly, Pantur Silaban, *Rangkaian Listrik Jilid 2*, Erlangga, 1987.
3. Ion Boldea, S. A. Nasar, *Electric Drives*, CRC Press LLC, 1999.
4. Joseph A. Edminister, M.S.E, *Teori dan Soal-Soal Rangkaian Listrik Edisi Kedua*, Erlangga, 1994.
5. Lee Cherff Cisca, Ir., dan Muslimin Marapung, Ir., *Rangkaian Listrik*, Armico, Bandung, 1983.
6. Muhammad H. Rashid, *SPICE for Power Electronics and Electric Power*, Prentice-Hall International Inc, 1993.
7. Muhammad H. Rashid, *Power Electronic Circuit, Device, and Application*, Prentice-Hall International Inc, 1988.
8. Ned Mohan, Tore M. Undeland, William P. Robbins, *Power Electronics Converter, Applications, and Design*, John Wiley & Sons Inc, 1995.
9. Sulasno, Ir., *Analisa Sistem Tenaga Listrik*, Satya Wacana, Semarang, 1998.
10. Vedam Subrahmanyam, *Electric Drives Concept and Applications*, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, 1994.
11. Zaenudin Zuhri, *Analisis Rangkaian*, J & J Learning, Yogyakarta, 2000.
12. Zuhul, *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1995.

Mengetahui/Mengesahkan

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. Agung Warsito, DHET
NIP 131 668 485

Karnoto, ST
NIP 132 162 547