

Simulasi Penyearah Gelombang Penuh Tak Terkendali 3 Fasa Menggunakan Simulink Matlab

Vicky Salamena¹

¹*Teknik Tenaga Listrik, Politeknik Negeri Ambon*

¹vickysalamena@gmail.com

Abstract, This study uses the Simulink-Matlab program to display graphs of the input and output voltage and current of a 3-phase uncontrolled full wave rectifier. The study was carried out by building a 3 phase uncontrolled full wave rectifier circuit using component blocks which are facilities of the program. The measurement blocks available in this program will display a signal curve (waveform), namely the signal amplitude as a function of time in a graph. The DC and RMS voltage and current parameters are calculated theoretically and then plotted on the simulation results graph. The simulation results can display the waveforms of the input and output voltage and current of the rectifier, settings for each block can be made to influence the performance of the block which can influence the characteristics of the rectifier circuit according to needs and from the graphical display of the simulation results the dc and rms values and values can be plotted. other than the voltage and current associated with the rectifier.

Keywords: 3-phase-rectifier, simulink-matlab-program, DC-RMS-voltage, DC-RMS-current

Abstrak, Kajian ini menggunakan program simulink-matlab untuk menampilkan grafik tegangan dan arus masukan dan keluaran penyearah gelombang penuh tak terkendali 3 fasa. Kajian dilakukan dengan membangun rangkaian penyearah gelombang penuh tak terkendali 3 fasa menggunakan blok-blok komponen yang merupakan fasilitas dari program tersebut. Blok pengukuran yang tersedia di program ini akan menampilkan kurva sinyal (bentuk gelombang) yaitu amplitudo sinyal fungsi waktu dalam sebuah grafik. Parameter tegangan dan arus DC maupun rms dihitung secara teoritis kemudian diplot pada grafik hasil simulasi.

Hasil simulasi dapat menampilkan bentuk gelombang tegangan dan arus input maupun output penyearah, pengaturan pada setiap blok dapat dilakukan untuk mempengaruhi unjuk kerja dari blok tersebut yang dapat mempengaruhi karakteristik rangkaian penyearah sesuai dengan kebutuhan dan dari tampilan grafik hasil simulasi dapat diplot nilai dc dan rms serta nilai lainnya dari tegangan dan arus yang berkaitan dengan penyearah tersebut.

Kata kunci: penyearah-3-fasa, program-simulink-matlab, tegangan-dc-rms, arus-dc-rms

1. PENDAHULUAN

Rangkaian penyearah gelombang penuh tak terkendali 3 fasa karakteristiknya ditentukan oleh bentuk sinyal masukan tegangan dan karakteristik beban yang terhubung pada penyearah tersebut. Unjuk kerja penyearah dapat diketahui melalui bentuk gelombang tegangan dan arus input maupun output fungsi waktu yang ditampilkan dalam sebuah grafik. Melalui tampilan grafik ini dapat dilihat bentuk gelombang tersebut yang dipengaruhi oleh komposisi dari beban penyearah dalam perioda waktu tertentu. Kesulitan dalam menghasilkan grafik ini secara manual karena harus diplot nilai-nilai amplitudo sinyal arus atau tegangan

setiap mili-detik dalam satu perioda untuk sinyal tegangan dan arus berbentuk gelombang sinusoida. Untuk mengatasi hal ini dapat dipergunakan fitur-fitur dari program Simulink di aplikasi Matlab. dalam program Simulink terdapat blok-blok komponen penyearah (secara umum konverter) seperti dioda, thyristor dan lain-lain. Demikian juga jenis dari beban listrik yaitu resistor, induktor dan kapasitor. Sebagai sumber sinyal (tegangan) terdapat blok sumber 1 fasa dan 3 fasa. Semua blok-blok komponen ini dalam penelitian ini dapat dirakit menjadi rangkaian penyearah gelombang penuh tak terkendali 3 fasa. Untuk dapat melihat/mengukur sinyal tegangan dan arus dapat digunakan fasilitas ukur yaitu blok 'scope'. Blok ini berfungsi seperti osiloskop dapat menampilkan grafik yakni nilai amplitude fungsi dari waktu. Semua blok yang ada pada program simulink ini dapat diatur parameternya sesuai rangkaian yang diperlukan.

Dalam penelitian ini rangkaian penyearah gelombang penuh tak terkendali 3 fasa dibangun menggunakan blok-blok komponen yang ada di program simulink-matlab. setiap parameter komponen penyearah diatur pada blok komponen tersebut. Kemudian di pasang 'scope' di input maupun output penyearah untuk mengukur bentuk sinyal arus dan tegangan penyearah. Setelah rangkaian simulasi dijalankan, maka pada blok 'scope' akan tampil kurva bentuk gelombang sinyal tegangan dan arus. Parameter penyearah seperti tegangan dan arus DC (rata-rata), tegangan dan arus efektif (rms) dihitung secara teoritis kemudian hasilnya dapat diplot pada grafik tersebut menggunakan aplikasi yang lain (microsoft office visio drawing). Dengan demikian dapat dianalisis unjuk kerja penyearah terhadap komposisi beban listrik.

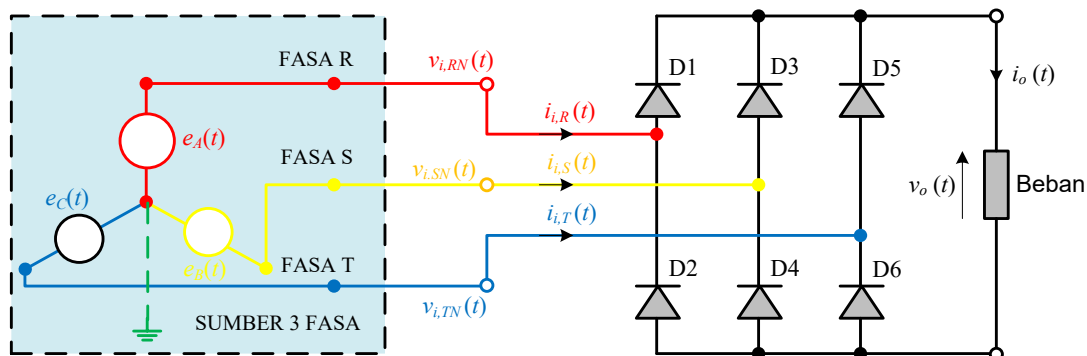
Hasil simulasi menggunakan program simulink-matlab dapat menampilkan bentuk gelombang tegangan dan arus input maupun output penyearah, pengaturan pada setiap blok dapat dilakukan untuk mempengaruhi unjuk kerja dari blok tersebut yang dapat mempengaruhi karakteristik rangkaian penyearah sesuai dengan kebutuhan dan dari tampilan grafik hasil simulasi dapat diplot nilai dc dan rms serta nilai lainnya dari tegangan dan arus yang berkaitan dengan penyearah tersebut.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penyearah Dioda Tiga Fasa

Penyearah gelombang-penuh tak-terkendali tiga-fasa dibangun oleh enam buah dioda seperti ditunjukkan oleh Gambar 1. Keenam dioda ini membentuk pasangan dioda untuk menyalurkan dua fasa tegangan ke beban secara bergantian tergantung dari polaritas dan nilai tegangan sesaat sumber tiga-fasa gelombang sinus berbeda 120° listrik. Pertama-tama tinjau fasa R dan fasa S, dari rangkaian akan menghubungkan beban dengan dioda D1 dan dioda D4 sehingga tegangan yang keluar ke beban adalah tegangan $v_{i,RS}(t)$ siklus positif pada selang $30^\circ < \omega t \leq 90^\circ$, untuk siklus negatif akan disalurkan oleh dioda D3 dan D2 pada selang $210^\circ < \omega t \leq 270^\circ$, ini merupakan satu siklus dari tegangan saluran (*line-to-line*) $v_{i,RS}(t)$. Kedua tinjau tegangan pada fasa R dan fasa T yang siklus positifnya di salurkan ke beban oleh pasangan dioda D1 dan D6 pada selang $150^\circ < \omega t \leq 210^\circ$, sedangkan siklus negatif disalurkan oleh pasangan dioda D5 dan D2 pada selang $330^\circ < \omega t \leq 390^\circ$ demikian satu siklus dari tegangan $v_{i,RT}(t)$. Ketiga tinjau pada tegangan fasa S dan fasa T, saat siklus positif dihantar oleh pasangan dioda D3 dan D6 pada selang $270^\circ < \omega t \leq 330^\circ$, kemudian siklus negatif dihantar oleh pasangan dioda D5 dan D4 pada selang $90^\circ < \omega t \leq 150^\circ$, ini adalah siklusnya tegangan $v_{i,ST}(t)$. Ada selang $330^\circ < \omega t \leq 360^\circ$ dan selang $0^\circ < \omega t \leq 30^\circ$

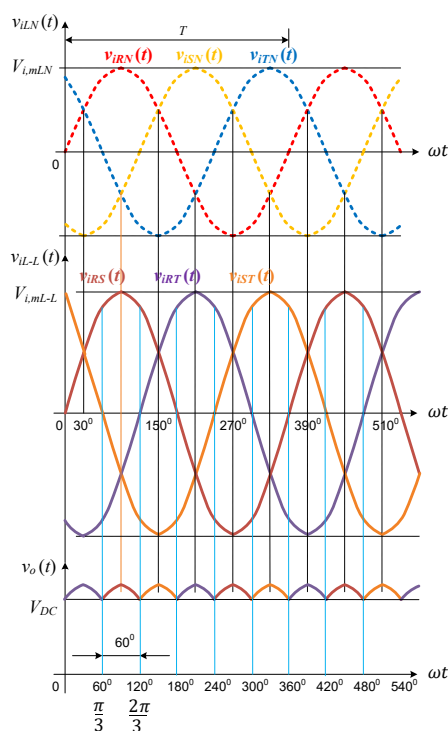
yang menghantar dioda D5 dan D2 untuk siklus negatif tegangan $v_{i,RT}(t)$. Kalau siklus gelombang tiga-fasa ini disusun menurut urutan waktu, maka dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 2 [1], [2].



Gambar 1 Rangkaian penyearah gelombang-penuh tak-terkendal tiga-fasa

Tabel 1 Urutan konduksi pasangan dioda

SELANG WAKTU	DIODA KONDUKSI	TEGANGAN BEBAN
$30^\circ < \omega t \leq 90^\circ$	D1 – D4	$+ v_{i,RS}(t)$
$90^\circ < \omega t \leq 150^\circ$	D5 – D4	$- v_{i,ST}(t)$
$150^\circ < \omega t \leq 210^\circ$	D1 – D6	$+ v_{i,RT}(t)$
$210^\circ < \omega t \leq 270^\circ$	D3 – D2	$- v_{i,RS}(t)$
$270^\circ < \omega t \leq 330^\circ$	D3 – D6	$+ v_{i,ST}(t)$
$0^\circ < \omega t \leq 30^\circ$ dan $330^\circ < \omega t \leq 360^\circ$	D5 – D2	$- v_{i,RT}(t)$



Gambar 2 Siklus gelombang penyearah gelombang-penuh tak-terkendal tiga-fasa

Selama satu periode 360° ada tiga fasa tegangan yang terpisah 120° satu dengan yang lainnya, karena satu periode fasa dilayani oleh dua pasang dioda maka satu pasang dioda melayani atau konduksi selama 60° listrik yaitu satu per enam dari satu periode fasa.

Ada dua tegangan sinus yaitu tegangan fasa-netral dan tegangan saluran.

- Tegangan fasa-netral (phase):

$$v_{i,LN}(t) = V_{mp} \sin \omega t, \text{ dan}$$

- Tegangan saluran (*line-to-line*):

$$v_{i,L-L}(t) = V_{ml} \sin (\omega t - 30^\circ), \text{ mengacu pada tegangan fasa-netral}$$

Tegangan saluran dengan nilai maksimum V_{ml} , dan tegangan fasa-netral dengan nilai maksimum V_{mp} , hubungan antara keduanya adalah:

$$V_{ml} = \sqrt{3} \cdot V_{mp} = \sqrt{3} \cdot V_m$$

Tegangan keluaran rata-rata (DC) ke beban dalam satu periode adalah luas dibawah kurva enam tegangan saluran (3 positif dan 3 negatif) sejauh 60° derajat listrik dibagi satu periode $2\pi = 360^\circ$. Diambil tegangan $v_{i,RS}(t)$ pada selang $30^\circ < \omega t \leq 90^\circ$ atau $\frac{\pi}{6} < \omega t \leq \frac{3\pi}{6}$, yaitu selang ini berlaku untuk koordinat tegangan fasa-netral, sedangkan gelombang tegangan saluran koordinatnya bergeser 30° listrik dari koordinat gelombang tegangan fasa-netral jadi selang integral untuk tegangan saluran yang keluar ke beban bergeser 30° listrik sehingga menjadi $60^\circ < \omega t \leq 120^\circ$ atau $\frac{\pi}{3} < \omega t \leq \frac{2\pi}{3}$ [3].

$$\begin{aligned} V_{o,DC} &= \frac{1}{T} \int v_{i,L-L}(t) dt = \frac{6}{T} \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}} \sqrt{3} \cdot V_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{6}{2\pi} \sqrt{3} \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}} V_m \sin \omega t d(\omega t) \\ &= \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m \left[-\cos \frac{2\pi}{3} + \cos \frac{\pi}{3} \right] = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m [-\cos 120^\circ + \cos 60^\circ] \\ &= \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \right] = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m \end{aligned} \quad (1)$$

Tegangan rata-rata $V_{o,DC}$ yang diperoleh dari tegangan maksimum fasa-netral $V_{i,mLN} = V_m$ adalah:

$$V_{o,DC} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m = 1,654 \cdot V_m \quad (2)$$

Sedangkan yang diperoleh dari tegangan maksimum saluran $V_{ml} = \sqrt{3} \cdot V_m$ adalah:

$$V_{o,DC} = \frac{3}{\pi} V_{ml} = 0,955 \cdot V_{ml} \quad (3)$$

Bila penyearah dibebani dengan beban resistif R maka arus yang mengalir adalah:

$$I_{o,DC} = \frac{V_{o,DC}}{R} = 1,654 \frac{V_m}{R} = 0,955 \frac{V_{ml}}{R} \quad (4)$$

Daya DC beban:

$$P_{DC} = V_{o,DC} \cdot I_{o,DC} \quad (5)$$

Tegangan rms beban diperoleh sebagai berikut,

$$\begin{aligned} V_{o,rms} &= \sqrt{\frac{1}{T} \int (v_{i,L-L}(t))^2 dt} = \sqrt{\frac{6}{T} \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}} (\sqrt{3} \cdot V_m \sin \omega t)^2 d(\omega t)} \\ &= \sqrt{\frac{6 \cdot 3}{2\pi} V_m^2 \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}} (\sin \omega t)^2 d(\omega t)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\rightarrow \sin^2 \omega t = \frac{1}{2}(1 - \cos 2\omega t) \\
 &= \sqrt{\frac{9}{\pi} V_m^2 \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}} \frac{1}{2}(1 - \cos 2\omega t) d(\omega t)} \\
 &= \sqrt{\frac{9}{2\pi} V_m^2 \left[\int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}} 1 d(\omega t) - \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}} \cos 2\omega t d(\omega t) \right]} \\
 &\quad \rightarrow \int \cos 2\omega t d(\omega t) = \frac{1}{2} \sin 2\omega t \\
 &= \sqrt{\frac{9}{2\pi} V_m^2 \left[[\omega t]_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}} - \frac{1}{2} [\sin 2\omega t]_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}} \right]} \\
 &= \sqrt{\frac{9}{2\pi} V_m^2 \left[\left[\frac{2\pi}{3} - \frac{\pi}{3} \right] - \frac{1}{2} \left[\sin \left(2 \cdot \frac{2\pi}{3} \right) - \sin \left(2 \cdot \frac{\pi}{3} \right) \right] \right]} \\
 &= \sqrt{\frac{9}{2\pi} V_m^2 \left[\frac{\pi}{3} - \frac{1}{2} [\sin 240^\circ - \sin 120^\circ] \right]} = \sqrt{\frac{9}{2\pi} V_m^2 \left[\frac{\pi}{3} - \frac{1}{2} \left[-\frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2} \right] \right]} \\
 &= \sqrt{\frac{9}{2\pi} V_m^2 \left[\frac{\pi}{3} + \frac{\sqrt{3}}{2} \right]} = V_m \sqrt{\frac{9}{2\pi} \cdot \frac{\pi}{3} + \frac{9}{2\pi} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}} \\
 &= V_m \sqrt{\frac{3}{2} + \frac{9\sqrt{3}}{4\pi}} = 1,655 \cdot V_m
 \end{aligned}$$

Tegangan rms $V_{o,rms}$ yang diperoleh dari tegangan maksimum fasa-netral $V_{mp} = V_m$ adalah:

$$V_{o,rms} = 1,655 \cdot V_m \quad (6)$$

Sedangkan yang diperoleh dari tegangan maksimum saluran $V_{ml} = \sqrt{3} \cdot V_m$ adalah:

$$V_{o,rms} = \frac{1,655}{\sqrt{3}} V_{ml} = 0,955 \cdot V_{ml} \quad (7)$$

Bila penyearah dibebani dengan beban resistif R maka arus yang mengalir adalah:

$$\begin{aligned}
 I_{o,rms} &= \frac{V_{o,rms}}{R} = \frac{V_m}{R} \sqrt{\frac{3}{2} + \frac{9\sqrt{3}}{4\pi}} = \frac{V_m}{R} \sqrt{\frac{3}{\pi} \left(\frac{\pi}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{4} \right)} = \frac{V_m}{R} \sqrt{\frac{9}{\pi} \left(\frac{\pi}{2 \cdot 3} + \frac{\sqrt{3}}{4} \right)} \\
 &= \frac{V_m}{R} \sqrt{\frac{9}{\pi} \left(\frac{\pi}{6} + \frac{\sqrt{3}}{4} \right)} \quad (8)
 \end{aligned}$$

Arus input rms penyearah adalah arus output saluran maksimum rms dibagi tiga:

$$\begin{aligned}
 I_{i,rms} &= \frac{I_{ml}}{3} \\
 &\quad \rightarrow I_{ml} = \sqrt{3} \cdot I_m \\
 &= \sqrt{3} \cdot \frac{I_m}{3} \\
 &\quad \rightarrow I_m = \sqrt{2} \cdot I_{o,rms} \\
 I_{i,rms} &= \frac{I_{ml}}{3} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_m}{3} = \frac{\sqrt{3} \cdot \frac{V_{ml}}{\sqrt{3} \cdot R}}{3} = \frac{V_{ml}}{3 \cdot R} = \frac{V_{ml}}{3 \cdot R}, \\
 &= \sqrt{3} \cdot \frac{I_m}{3} \\
 &\quad \rightarrow I_m = \sqrt{2} \cdot I_{o,rms} \\
 &= \sqrt{3} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{V_m}{R} \sqrt{\frac{9}{\pi} \left(\frac{\pi}{6} + \frac{\sqrt{3}}{4} \right)} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{3}{3} \cdot \frac{V_m}{R} \sqrt{\frac{1}{\pi} \left(\frac{\pi}{6} + \frac{\sqrt{3}}{4} \right)}
 \end{aligned}$$

$$= \sqrt{3} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{V_m}{R} \sqrt{\frac{1}{\pi} \left(\frac{\pi}{6} + \frac{\sqrt{3}}{4} \right)} = \sqrt{3} \cdot \frac{V_m}{R} \sqrt{\frac{2}{\pi} \left(\frac{\pi}{6} + \frac{\sqrt{3}}{4} \right)}$$

$$\Rightarrow I_{ml} = \sqrt{3} \cdot \frac{V_m}{R} = \sqrt{3} \cdot I_m$$

$$\Rightarrow \sqrt{\frac{2}{\pi} \left[\frac{\pi}{6} + \frac{\sqrt{3}}{4} \right]} = 0,78$$

$$= 0,78 \cdot I_{ml}$$

sehingga,

$$I_{i,rms} = I_{ml} \sqrt{\frac{2}{\pi} \left[\frac{\pi}{6} + \frac{\sqrt{3}}{4} \right]} = 0,78 \cdot I_{ml},$$

Bila diketahui tegangan input rms fasa-fasa penyearah $V_{i,rms l}$, maka diperoleh arus input maksimum adalah:

$$I_{ml} = \frac{\sqrt{2} \cdot V_{i,rms l}}{R},$$

Sehingga,

$$I_{i,rms} = 0,78 \cdot \frac{\sqrt{2} \cdot V_{i,rms l}}{R} = 1,1031 \cdot \frac{V_{i,rms l}}{R}, \quad (9)$$

Arus rms yang melalui dioda:

$$I_D = I_{ml} \sqrt{\frac{1}{\pi} \left[\frac{\pi}{6} + \frac{\sqrt{3}}{4} \right]} = 0,552 \cdot I_{ml} = 0,552 \cdot \frac{\sqrt{2} \cdot V_{i,rms l}}{R} = 0,781 \cdot \frac{V_{i,rms l}}{R} \quad (10)$$

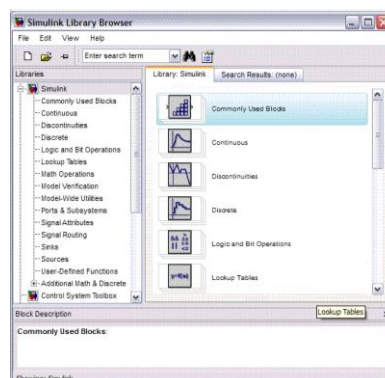
2.2. Program Simulink-Matlab

Simulink diprogram matlab merupakan suatu fasilitas yang dengan mudah dapat digunakan. Pemrograman pada simulink dapat dilakukan dengan menampilkan komponen-komponen dalam bentuk blok-blok yang dapat dirakit menjadi suatu blok rangkaian tertentu. Pengoperasian simulink dapat dijelaskan sebagai berikut:

Untuk memulai Simulink dan membuka library milik Simulink:

1. Jalankan program MATLAB.
2. Ketik simulink pada jendela perintah MATLAB.

maka akan nampak Library untuk Simulink seperti gambar berikut.



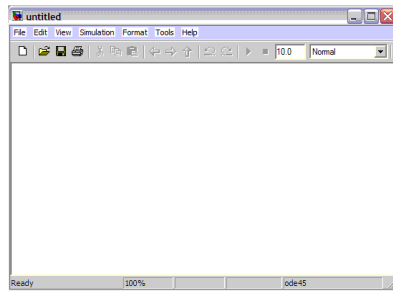
Gambar 3. Simulink library browser

Jendela ini digunakan untuk memilih komponen yang akan digunakan dalam rangkaian yang akan didesain, dan juga digunakan untuk mengambil jendela workspaces yang baru.

Untuk membuat model baru harus :

- Memilih File > New > Model di Library milik Simulink .

Maka akan terbuka jendela model yang masih kosong.



Gambar 4. Jendela *workspace* yang baru

Untuk membuka model yang sudah ada:

1. Pilih File > Open
akan nampak kotak dialog.
2. Pilih model (file .mdl) yang ingin dibuka, lalu klik Open.
MATLAB akan membuka model di jendela model.

Untuk menyimpan model dengan memilih apakah menggunakan perintah Save atau Save As dari menu file. Model akan disimpan dalam bentuk format yang disebut *model file* (dengan ekstensi .mdl) yang berisi diagram blok dan berbagai sifat-sifatnya [4].

3. METODOLOGI

Penelitian dilakukan dengan merakit rangkaian penyearah gelombang-penuh tak-terkendali 3 fasa menggunakan komponen-komponen yang terdapat di dalam fasilitas Simulink-matlab. Tegangan maksimum V_m , tegangan dan arus dc dan rms dihitung secara teoritis. Hasil simulasi dengan program Simulink-matlab akan menghasilkan grafik bentuk gelombang tegangan dan arus. Langkah-langkah penelitian ditunjukkan oleh diagram alir Gambar 5.



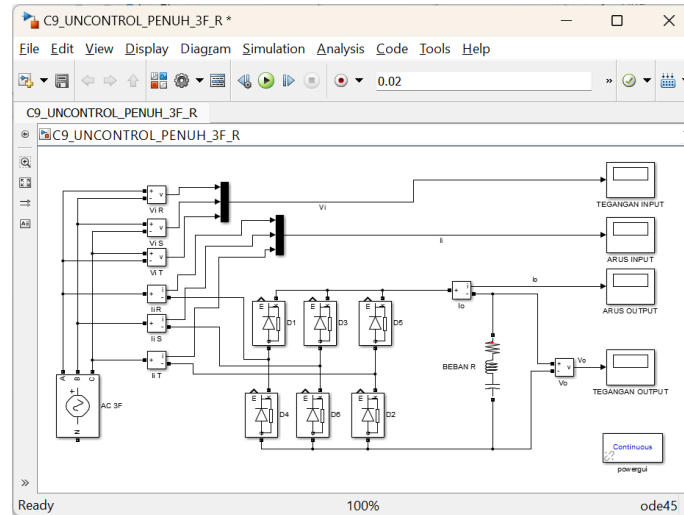
Gambar 5 Bagan alir peneltiam

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi pada program simulink-matlab menggunakan blok sumber 3 fasa yang mensuplai penyearah yang dibangun oleh enam buah dioda. Keluaran dari penyearah tersebut dibebani dengan blok impedansi yang

terdiri dari resistor, induktor dan kapasitor. Untuk menentukan jenis beban diatur dengan memasukkan nilai-nilai dari komponen impedansi tersebut, misalnya hanya menggunakan beban resistor maka komponen resistor saja yang ada nilainya. Komponen yang lain bernilai nol. Jika menggunakan semua komponen berarti masing-masing komponen tersebut mempunyai nilai lebih besar dari nol (sesuai dengan nilai yang diinginkan). Sumber tegangan 3 fasa nilai tegangan antar fasa adalah 380-V dan frekuensi 50-Hz. Nilai resistensinya 100-ohm.

Rangkaian simulasi di program simulink-matlab penyearah gelombang-penuh tak-terkendali 3 fasa ditunjukkan pada Gambar 6.



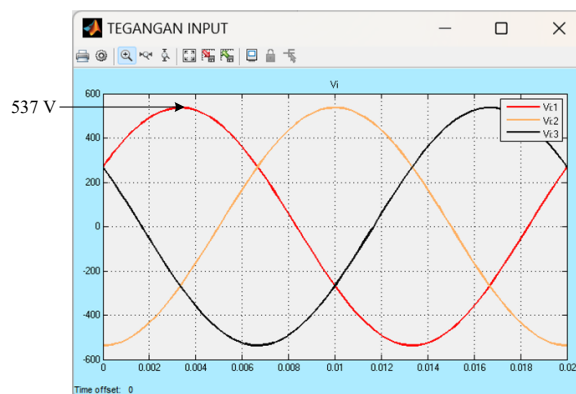
Gambar 6 Rangkaian simulasi penyearah dioda gelombang-penuh 3 fasa

4.1. Beban Resistif

Untuk beban resistif nilai resistansi yang digunakan 100 ohm, sedangkan nilai reaktansi induktif dan kapasitif bernilai nol. Untuk mendapatkan tegangan input maksimum dihitung dari masukan tegangan fasa-fasa rms 380-V, sehingga dapat diperoleh sebagai berikut,

$$V_{m,l} = \sqrt{2} \cdot V_{rms,l} = \sqrt{2} \cdot 380 = 537,4 \text{ V},$$

Hasil simulasi menunjukkan tegangan input seperti ditunjukkan oleh Gambar 7.

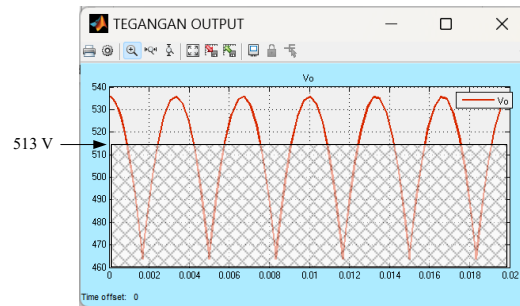


Gambar 7 Tegangan input hasil simulasi

Dapat dilihat pada kurva tegangan hasil simulasi, bahwa tegangan maksimum sebesar 537-V. secara teoritis tegangan dc (rata-rata) sebagai output penyearah ke beban dapat ditentukan menggunakan persamaan (3) sebagai berikut,

$$V_{o,DC} = 0,955 \cdot V_{m,l} = 0,955 \cdot 537,4 = 513,22 \text{ V},$$

Bentuk gelombang tegangan beban ditunjukkan oleh Gambar 8.



Gambar 8 Bentuk tegangan output penyearah beban R

Nilai rata-rata dari bentuk tegangan output Gambar 8 sebesar 513-V. Demikian juga untuk tegangan rms beban adalah,

$$V_{o,rms} = 0,955 \cdot V_{m,l} = 0,955 \cdot 537,4 = 513,22 \text{ V},$$

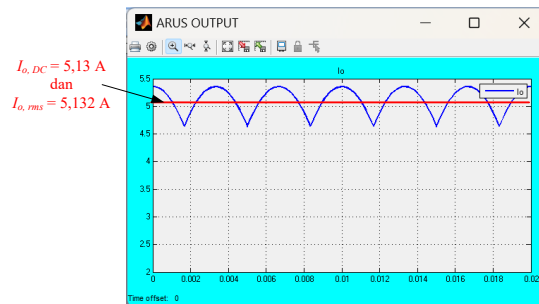
Arus output DC yang mengalir untuk beban resistansi menurut persamaan (4), adalah:

$$I_{o,DC} = \frac{V_{o,DC}}{R} = \frac{513,22}{100} = 5,13 \text{ A},$$

Demikian juga untuk arus rms beban R adalah:

$$I_{o,rms} = \frac{V_{o,rms}}{R} = \frac{513,22}{100} = 5,132 \text{ A},$$

Bentuk gelombang arus output penyearah untuk beban resistif ditunjukkan oleh Gambar 9.



Gambar 9 Bentuk gelombang arus output penyearah beban R

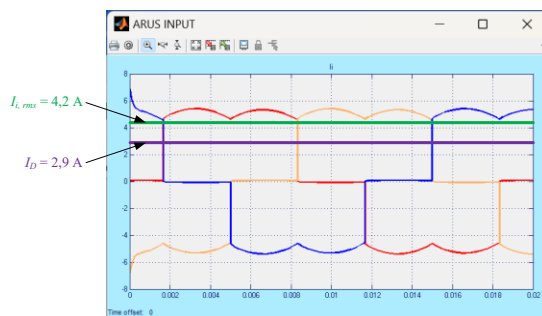
Arus input rms diperoleh dari persamaan (9), yaitu:

$$I_{i,rms} = 1,1031 \cdot \frac{V_{i,rms,l}}{R} = 1,1031 \cdot \frac{380}{100} = 4,2 \text{ A},$$

Arus rms yang melalui dioda yang diperoleh dari persamaan (10), adalah:

$$I_D = 0,781 \cdot \frac{V_{i,rms,l}}{R} = 0,781 \cdot \frac{380}{100} = 2,96 \text{ A},$$

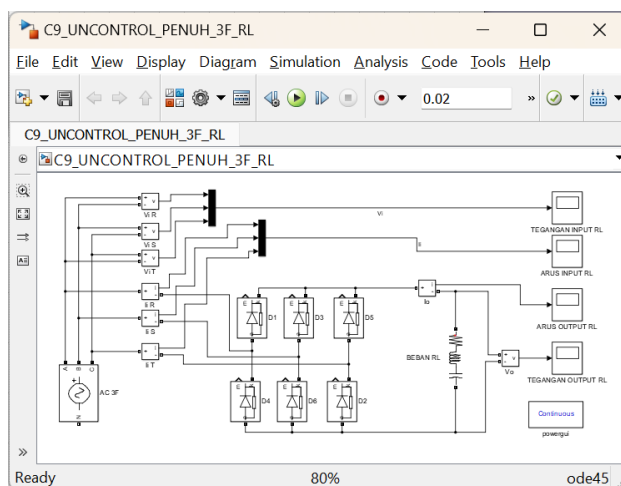
Bentuk gelombang arus input penyearah pada beban resistansi ditunjukkan oleh Gambar 10.



Gambar 10 Bentuk Gelombang arus input penyearah beban R

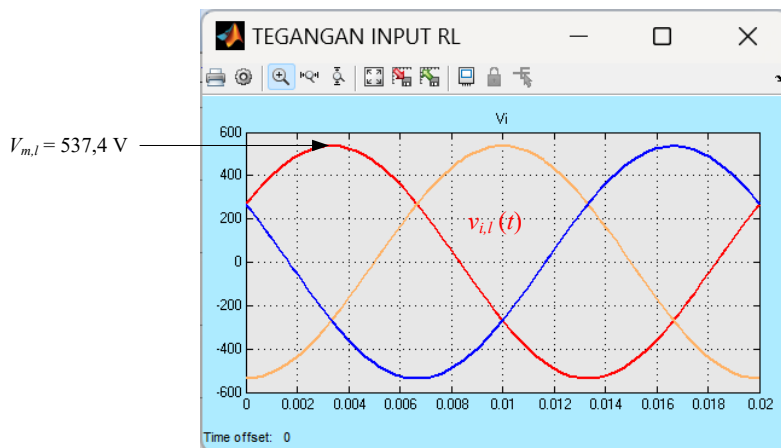
4.2. Beban Resistif dan Induktif (RL)

Rangkaian penyearah yang mensuplai beban RL, simulasinya dilakukan dengan mengatur nilai resistansi dan nilai induktansi pada blok impedansi. Besar nilai resistansi 100-ohm dan nilai induktansi 0,12-H. rangkaian simulasi ditunjukkan oleh Gambar 10.



Gambar 10 Rangkaian simulasi untuk beban RL

Tegangan input 3 fasa sama dengan tegangan input pada beban resistansi. Hasil imulasinya ditunjukan oleh Gambar 11.



Gambar 11 Hasil simulasi tegangan input penyearah untuk beban RL

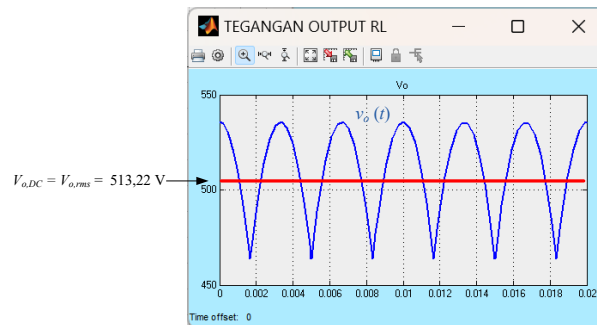
Dapat dilihat pada kurva tegangan hasil simulasi, bahwa tegangan maksimum sebesar 537-V. secara teoritis tegangan dc (rata-rata) sebagai output penyearah ke beban dapat ditentukan menggunakan persamaan (3) sebagai berikut,

$$V_{o,DC} = 0,955 \cdot V_{m,l} = 0,955 \cdot 537,4 = 513,22 \text{ V},$$

Nilai rata-rata dari bentuk tegangan output Gambar 12 sebesar 513-V. Demikian juga untuk tegangan rms beban diperoleh,

$$V_{o,rms} = 0,955 \cdot V_{m,l} = 0,955 \cdot 537,4 = 513,22 \text{ V},$$

Hasil simulasi untuk tegangan output ditunjukkan oleh Gambar 12.



Gambar 12 Tegangan output penyearah untuk beban RL

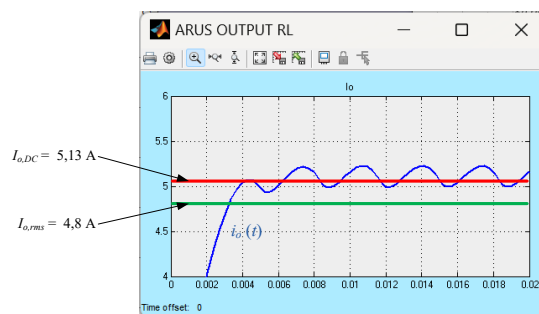
Arus dc yang mengalir untuk beban resistansi dan induktansi adalah:

$$I_{o,DC} = \frac{V_{o,DC}}{R} = \frac{513,22}{100} = 5,13 \text{ A},$$

Sedangkan arus rms adalah:

$$I_{o,rms} = \frac{V_{o,rms}}{Z} = \frac{V_{o,rms}}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} = \frac{513,22}{\sqrt{100^2 + (2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,12)^2}} = 4,8 \text{ A},$$

Hasil simulasi terhadap beban RL mendapatkan kurva bentuk gelombang arus beban seperti ditunjukkan oleh Gambar 13.



Gambar 13 Bentuk gelombang arus beban RL

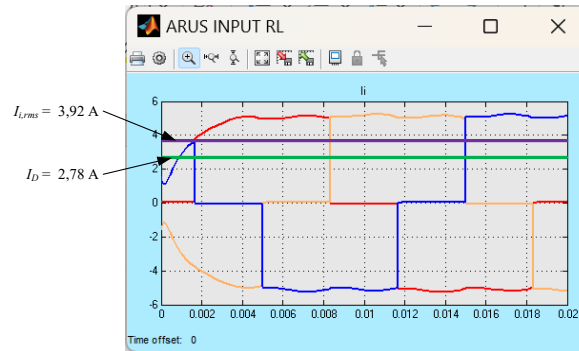
Arus input rms diperoleh dari persamaan (9), yaitu:

$$I_{i,rms} = 1,1031 \cdot \frac{V_{i,rms,l}}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} = 1,1031 \cdot \frac{380}{\sqrt{100^2 + (2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,12)^2}} = 3,92 \text{ A},$$

Arus rms yang melalui dioda yang diperoleh dari persamaan (10), adalah:

$$I_D = 0,781 \cdot \frac{V_{i,rms,l}}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} = 0,781 \cdot \frac{380}{\sqrt{100^2 + (2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,12)^2}} = 2,78 \text{ A},$$

Bentuk gelombang arus input penyearah berbeban RL hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14 Bentuk gelombang arus input penyearah berbeban RL

Penyearah gelombang penuh tak terkendali 3 fasa yang disimulasikan dengan program simulink-matlab dapat menampilkan bentuk gelombang tegangan dan arus sesaat (fungsi waktu) untuk input maupun output penyearah tersebut. Untuk input penyearah bentuk gelombang tegangan dan arus pada masing-masing fasa dapat ditampilkan, selanjutnya dengan menghitung tegangan maksimum, arus per fasa dan arus disetiap dioda maka dapat diplot kurvanya pada tampilan hasil simulasi. Demikian juga output dari penyearah yaitu tegangan DC (rata-rata) dan tegangan rms hasil perhitungannya dapat diplot pada grafik (bentuk gelombang) hasil simulasi tegangan dan arus keluaran penyearah.

Blok komponen dioda dapat diatur parameternya seperti resistansi dalam dioda yang mempengaruhi karakteristik dari dioda tersebut terhadap rangkaian penyearah. Demikian juga untuk sumber tegangan 3 fasa dapat diatur amplitudo dan frekuensi dari keluaran sumber tersebut sesuai dengan keperluan beban penyearah. Pada blok beban dapat diatur nilai resistansi dan reaktansi (induktansi dan kapasitansi) sesuai dengan beban yang dibutuhkan.

Sinyal input dan output penyearah ditampilkan dalam bentuk grafik amplitudo (tegangan atau arus) fungsi dari waktu. Grafik tersebut memperlihatkan karakteristik dari sinyal tegangan dan arus selama periode waktu tertentu. Banyaknya tampilan periode waktu dapat diatur sesuai dengan kebutuhan.

5. KESIMPULAN

Hasil simulasi penyearah gelombang penuh tak terkendali 3 fasa menggunakan simulink-matlab dapat disimpulkan bahwa: hasil simulasi dapat menampilkan bentuk gelombang tegangan dan arus input maupun output penyearah, pengaturan pada setiap blok dapat dilakukan untuk mempengaruhi unjuk kerja dari blok tersebut yang dapat mempengaruhi karakteristik rangkaian penyearah sesuai dengan kebutuhan, dari tampilan grafik hasil simulasi dapat diplot nilai dc dan rms serta nilai lainnya dari tegangan dan arus yang berkaitan dengan penyearah tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] <https://www.electrical4u.com/three-phase-full-wave-diode-bridge-rectifier/> (26-04-2024)
- [2] https://aliah.ac.in/upload/media/12-05-20_1589290449.pdf (26-04-2024)
- [3] <https://www.monolithicpower.com/jp/power-electronics/ac-dc-converters/uncontrolled-rectifiers> (26-04-2024)
- [4] S. Ayasun and G. Karbeyaz, "DC motor speed control methods using MATLAB/Simulink and their integration into undergraduate electric machinery courses," *Comp. Applic. Eng. Educ.*, vol. 15, pp. 347–354, 2007.