

Pengaruh Penggunaan Filter DC pada Penyearah Gelombang Penuh Tiga Fasa

Amirullah

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik
Universitas Bhayangkara (Ubhara) Surabaya

ABSTRACT

This paper presents effect of use dc filters on three phases of full wave rectifier. Three phases of full wave rectifier are commonly used in high power application. It can be operated with or without a transformer and give six pulse ripples on the output voltage. We have notice that the output of the rectifier contains harmonic. Filter can be used to smooth out the dc output voltage and current of the rectifier and these are known as dc filters. The dc filters are usually of L, C, and LC type. By inserting the dc filter on the output of three phases full wave rectifier, can reduce ripple dc output voltage and current of the rectifier. As result, depend on without filter, L type filter, and C type filter, LC type filter give the best performance because it can smooth out the dc output voltage and current of the rectifier and minimize ripple of wave or ripple factor (RF) almost as zero valued.

Key word: three phases, full wave rectifier, filter, harmonic, ripple.

PENDAHULUAN

Sebuah penyearah (*rectifier*) merupakan rangkaian yang mengkonversikan sinyal ac menjadi sinyal satu arah. Diode banyak digunakan pada penyearah. Penyearah dapat diklasifikasikan menjadi dua tipe, tergantung pada suplai masukan, yaitu; (1) penyearah satu fasa dan (2) penyearah tiga fasa. Setiap tipe dapat dibagi lagi menjadi dua, yaitu; (a) penyearah setengah gelombang penuh dan (b) penyearah gelombang penuh.

Penyearah setengah gelombang satu fasa merupakan jenis yang sederhana, tetapi tidak biasa digunakan pada aplikasi industri. Namun demikian, penyearah ini berguna untuk memahami prinsip kerja dasar dari penyearah. Prinsip penyearah setengah gelombang

satu fasa, adalah selama tegangan masukan memiliki siklus positif, diode akan konduksi dan tegangan masukan akan muncul di beban. Selama tegangan masukan memiliki siklus negatif, diode pada kondisi tertahan (*blocking condition*) dan tegangan keluarannya bernilai nol.

Rangkaian penyearah gelombang penuh satu fasa terdiri dari dua tipe, yaitu; (1) menggunakan tap trafo tengah dan (2) menggunakan empat buah diode. Pada tipe pertama tiap bagian trafo dan diode berfungsi sebagai penyearah setengah gelombang. Sedangkan pada tipe kedua, selama tegangan masukan mengalami siklus setengah positif, daya disuplai ke beban melalui diode D_1 dan D_2 . Pada saat siklus negatif, diode D_3 dan D_4 akan konduksi. Rangkaian pe-

nyearah gelombang penuh satu menggunakan empat buah diode dikenal dengan penyearah jembatan (*bridge rectifier*) dan sangat sering digunakan pada aplikasi industri dengan daya diatas 15 kW.

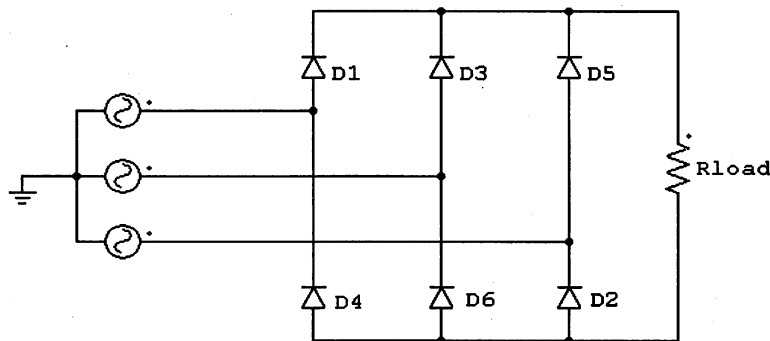
Untuk daya keluaran yang besar, banyak digunakan penyearah tiga fasa dan fasa banyak. Penyearah jembatan tiga fasa biasanya digunakan pada aplikasi dengan daya tinggi. Penyearah gelombang penuh tiga fasa dapat dioperasikan dengan atau tanpa trafo dan memberikan enam pulsa *ripple* pada tegangan keluaran (Rashid, M.H. 2004: h. 92).

Keluaran penyearah gelombang penuh tiga fasa umumnya mengandung harmonisa. Untuk menghilangkan harmonisa tersebut dapat digunakan *filter*. *Filter* pada penyearah terdiri dari dua jenis yaitu *filter dc* dan *filter ac*. *Filter dc* terdiri dari *filter L*, *C*, dan *LC*. Makalah

akan membahas penggunaan *filter dc* dan pengaruhnya terhadap tegangan keluaran penyearah gelombang penuh tiga fasa.

METODE PENELITIAN

Penyearah gelombang penuh tiga fasa menggunakan enam buah diode. Diode-diode tersebut dinomori berdasarkan urutan konduksi dan tiap sudut untuk tipe konduksinya adalah 120° . Urutan konduksi untuk diode adalah D_1-D_2 , D_2-D_3 , D_3-D_4 , D_4-D_5 , D_5-D_6 dan D_6-D_1 . Pasangan diode yang dihubungkan di antara pasangan jalur sumber memiliki jumlah tegangan line ke line instantaneus tertinggi akan konduksi. Tegangan line ke line adalah $\sqrt{3}$ kali tegangan fasa sumber tegangan tiga fasa yang terhubung Y (Rashid, M.H. 2004: h. 92). Untuk lebih jelasnya, rangkaian penempatan diode ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian urutan penomoran diode

Parameter penyearah gelombang penuh tiga fasa

Tegangan keluaran rata-ratanya adalah (Lander, C.W, 1993: h. 66):

$$V_{dc} = \frac{2}{2\pi/6} \int_0^{\pi/6} \sqrt{3} V_m \cos \omega t d(\omega t) \quad (1)$$

$$= \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m$$

Dengan V_m adalah tegangan fasa puncak.

Berdasarkan persamaan 1, maka diperoleh arus rata-rata:

$$I_{dc} = \frac{V_{dc}}{R} \quad (2)$$

Sedangkan tegangan keluaran rms adalah:

$$V_{rms} = \left[\frac{2}{2\pi/6} \int_0^{\pi/6} 3V_m^2 \cos \omega t d(\omega t) \right]^{1/2} \quad (3)$$

$$= \left(\frac{3}{2} + \frac{9\sqrt{3}}{4\pi} \right)^{1/2} V_m = 1,6554 V_m$$

Berdasarkan persamaan 3, maka diperoleh harga arus rms:

$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{R} \quad (4)$$

dan nilai efisiensinya adalah:

$$\eta = \frac{P_{dc}}{P_{rms}} \quad (5)$$

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

Ripple Gelombang

Ripple atau riak gelombang adalah distorsi yang menyebabkan harga tegangan dc menjadi tidak murni. *Ripple* gelombang muncul akibat adanya harmonisa-harmonisa pada gelombang keluaran dc. Harmonisa merupakan gelombang sinusoida yang mempunyai frekuensi kelipatan integer dari frekuensi asli. Komponen harmonisa terdiri dari gelombang sinusoida dengan frekuensi utama atau komponen fundamental (harmonisa ke-1), dan frekuensi dua kali frekuensi utama (harmonisa ke-2), dan seterusnya (Ashari, Mochammad, 2006: h. 11).

Tegangan dc tak murni besarnya sama dengan harga tegangan dc ditambah harga *ripple*. Besaran *ripple* dinyatakan

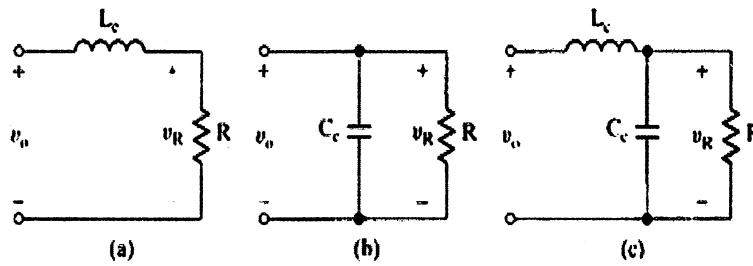
dalam harga *peak to peak ripple* atau *ripple factor (RF)*.

$$RF = \sqrt{\left(\frac{V_{rms}}{V_{dc}} \right)^2 - 1} \quad (6)$$

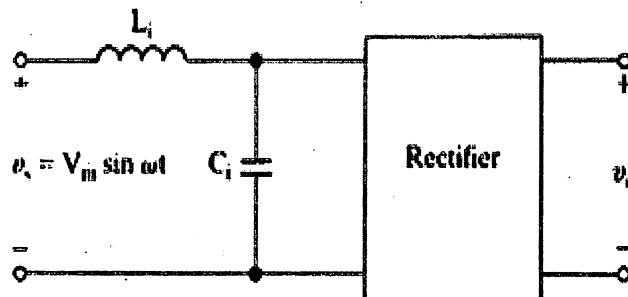
Harga *RF* bernilai nol apabila berupa gelombang dc murni. Harga *RF* juga dapat juga bernilai lebih dari 100 %. Gelombang dc murni mempunyai harga rata-rata sama dengan harga rms. Besar *ripple* gelombang dinyatakan dalam selisih harga tertinggi dan terendah komponen ac-nya dan dinyatakan dalam prosentase terhadap harga rata-rata (Salam, Z, 2003: h. 30).

Penggunaan Filter untuk Mengurangi Harmonisa

Keluaran penyearah gelombang penuh tiga fasa umumnya mengandung harmonisa. Untuk menghilangkan harmonisa tersebut dapat digunakan *filter*. *Filter* pada penyearah terdiri dari dua jenis yaitu *filter dc* dan *filter ac*. *Filter dc* terdiri dari *filter L*, *C*, dan *LC* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.a. Karena ada penyearahan arus masukan penyearah juga mengandung harmonisa, dan *filter ac* digunakan untuk memfilter beberapa harmonisa dari sistem sumber tersebut. *Filter ac* ditunjukkan pada Gambar 2.b dan biasanya terdiri dari komponen *LC* (Rashid, M.H. 2004: 102). Namun makalah ini hanya akan membahas *filter dc* dan pengaruhnya terhadap tegangan keluaran penyearah gelombang penuh tiga fasa.



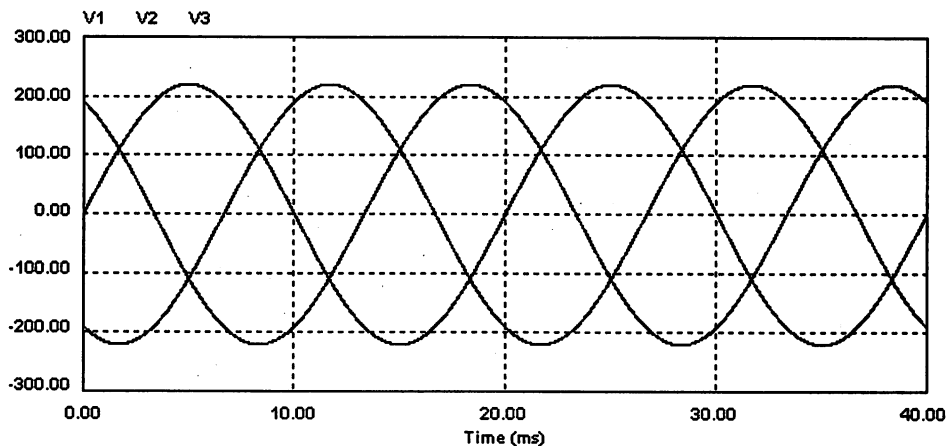
Gambar 2.a. Filter DC



Gambar 2.b. Filter AC

HASIL DAN PEMBAHASAN

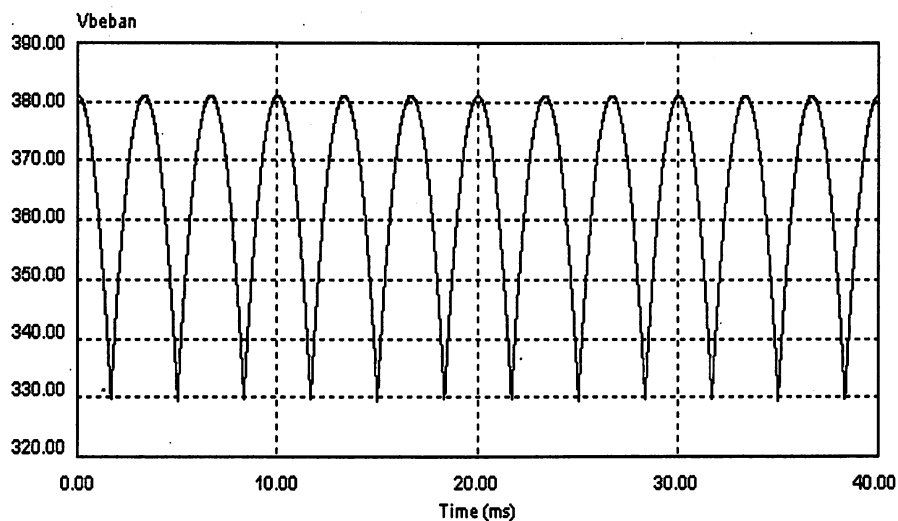
Simulasi dilakukan berdasarkan rangkaian pada Gambar 1, dimana pada rangkaian tersebut masih belum dipasang *filter*. Sebagai pembandingan selanjutnya penyearah pada Gambar 1 (tanpa filter) akan dipasang *filter dc* jenis *filter L, C*, dan *LC* untuk mengetahui respon tegangan dan arus keluaran. Adapun parameter rangkaian penyearah gelombang penuh tiga fasa adalah $V_{L-N} = 220 \text{ V}$, $R = 10 \text{ } \Omega$, $L_e = 47 \text{ mH}$, $C_e = 330 \text{ } \mu\text{F}$ dan $f = 50 \text{ Hz}$.



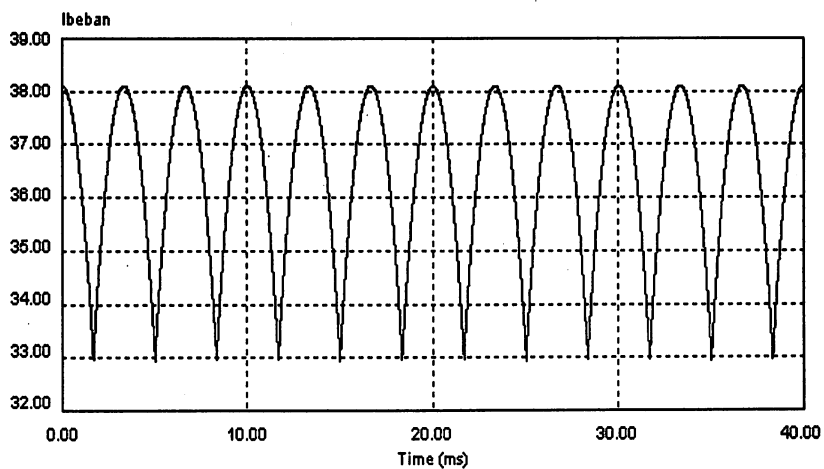
Gambar 3. Bentuk gelombang tegangan Input

Penyearah gelombang penuh tiga fasa tanpa menggunakan *filter dc*.

Rangkaian penyearah gelombang penuh tiga fasa tanpa filter ditunjukkan pada Gambar 1. Dengan menggunakan *software Power Simulator (PSIM)*, maka diperoleh gelombang tegangan dan arus keluaran sebagai berikut:

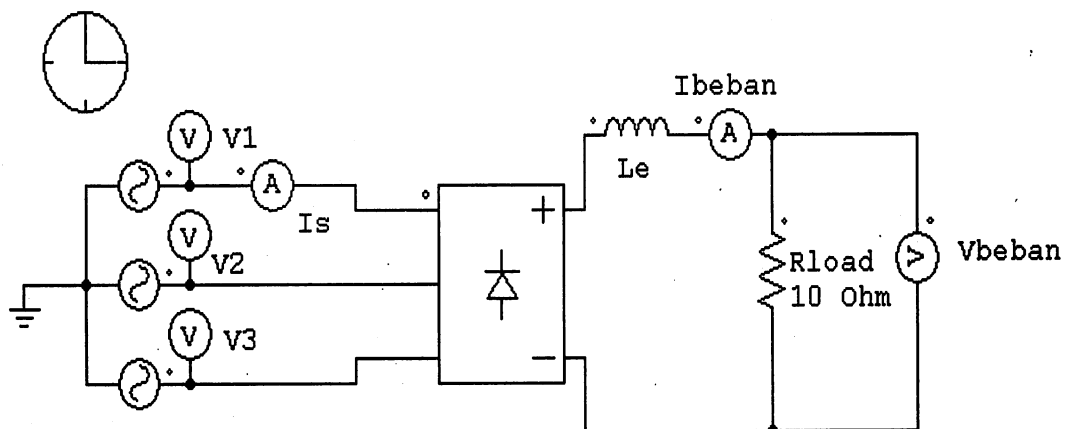


Gambar 4. Bentuk gelombang tegangan output penyearah tiga fasa tanpa filter dc.

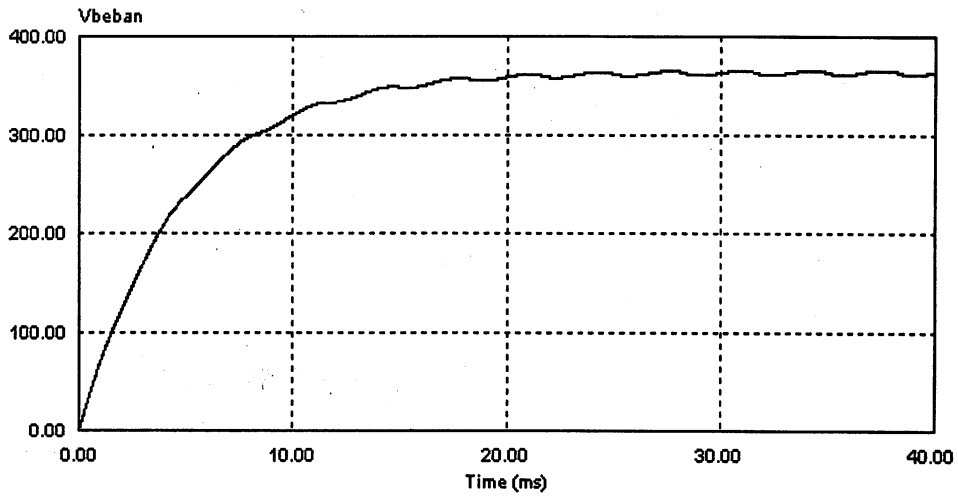


Gambar 5. Bentuk gelombang arus output penyearah tiga fasa tanpa filter dc.

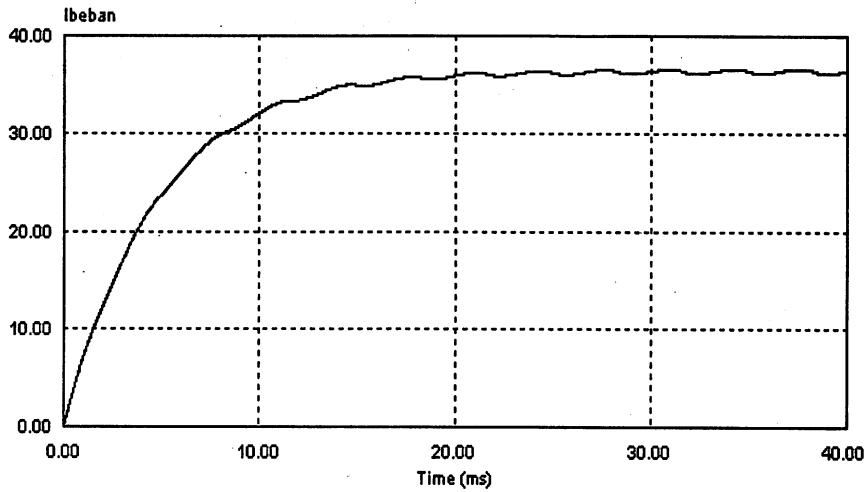
Penyearah gelombang penuh tiga fasa menggunakan filter L.



Gambar 6. Rangkaian penyearah gelombang penuh tiga fasa menggunakan filter L.

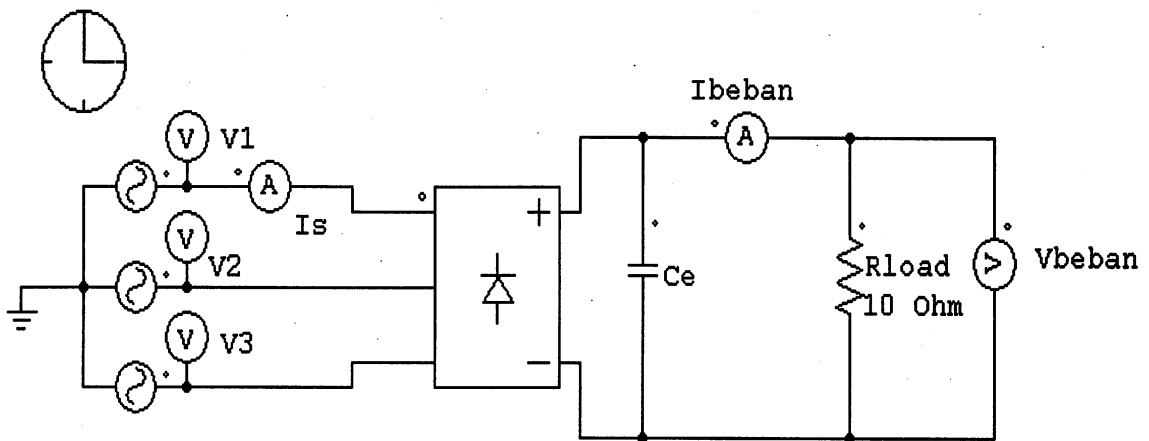


Gambar 7. Bentuk gelombang tegangan output penyearah tiga fasa menggunakan filter L.

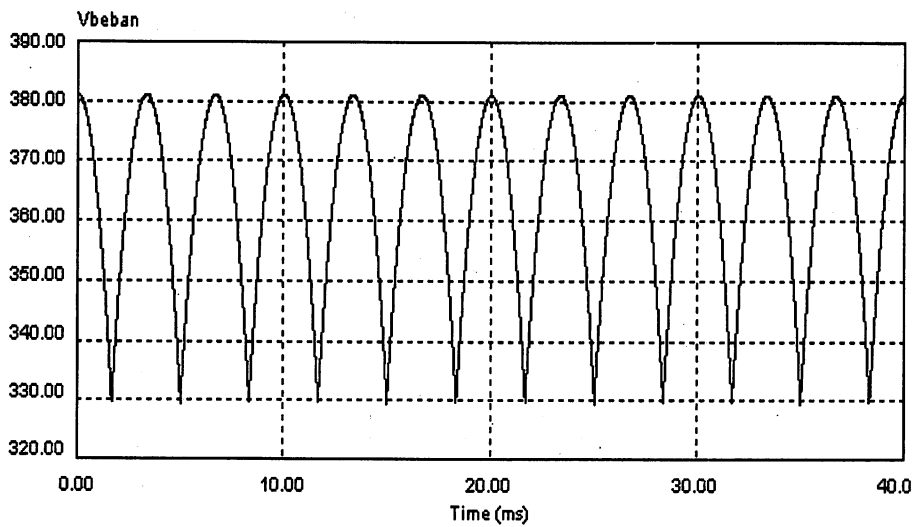


Gambar 8. Bentuk gelombang tegangan output penyearah tiga fasa menggunakan filter L.

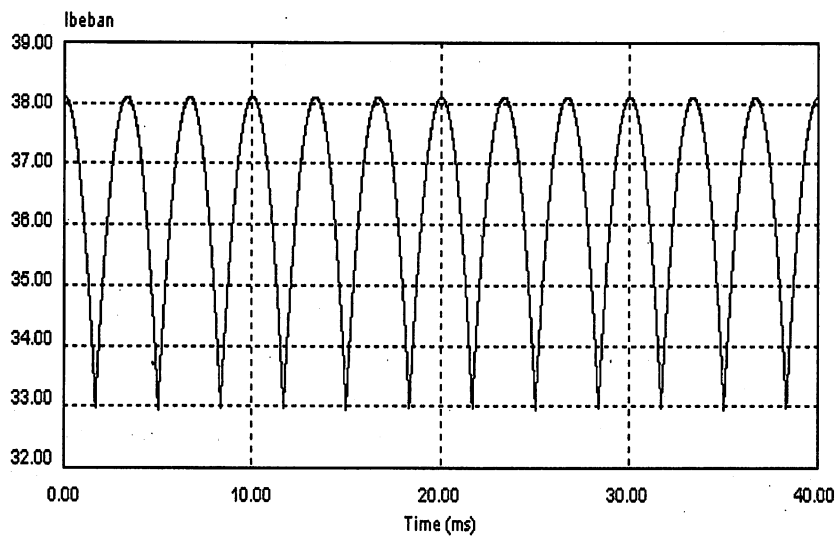
Penyearah gelombang penuh tiga fasa menggunakan filter C.



Gambar 9. Rangkaian penyearah gelombang penuh tiga fasa menggunakan filter C.

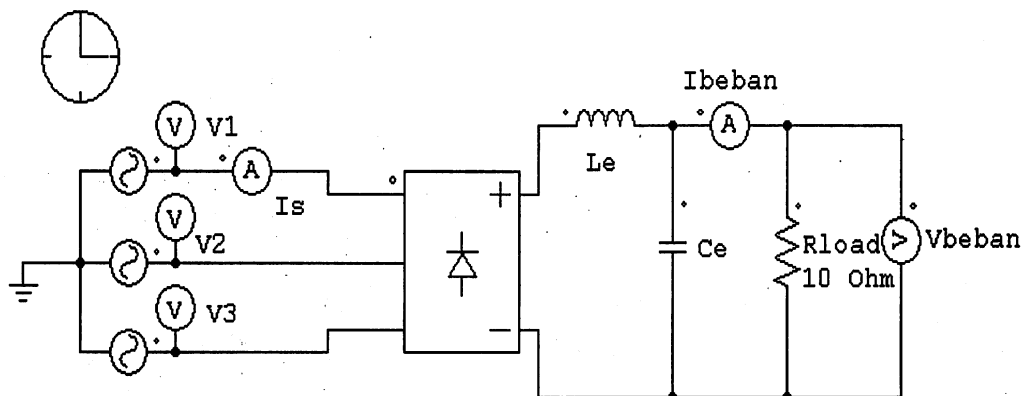


Gambar 10. Bentuk gelombang tegangan output penyearah tiga fasa menggunakan filter C.

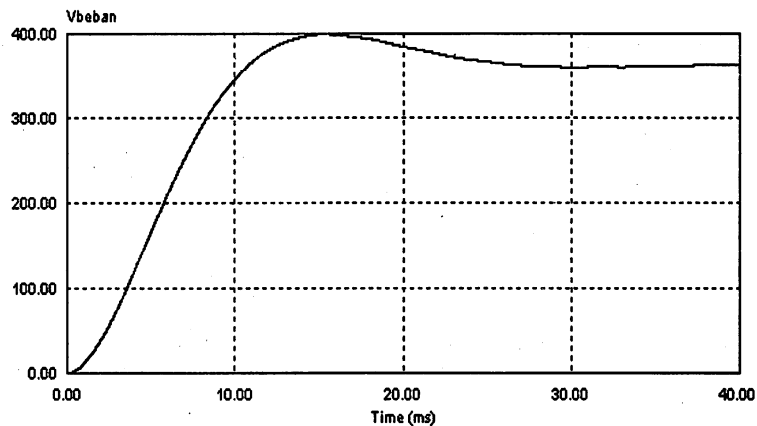


Gambar 11. Bentuk gelombang arus output penyearah tiga fasa menggunakan filter C.

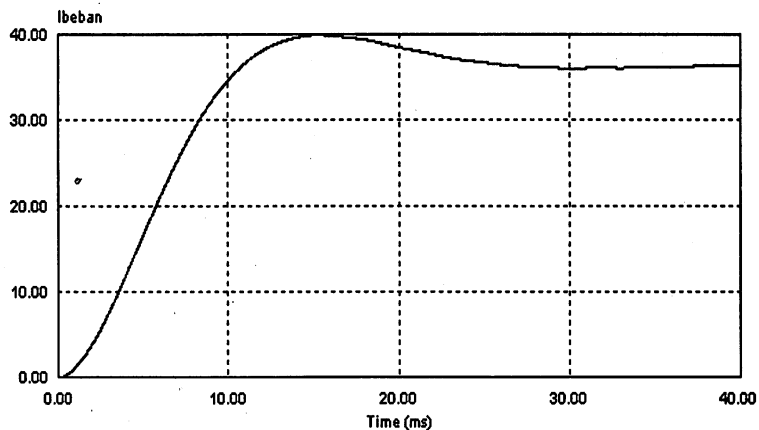
Penyearah gelombang penuh tiga fasa menggunakan filter LC.



Gambar 12. Rangkaian penyearah gelombang penuh tiga fasa menggunakan filter LC.



Gambar 13. Bentuk gelombang tegangan output penyearah tiga fasa menggunakan filter LC.



Gambar 14. Bentuk gelombang arus output penyearah tiga fasa menggunakan filter LC.

Analisa Hasil

Berdasarkan data $V_{L-N} = 220 \text{ V}$, $R = 10 \text{ } \Omega$, dan $f = 50 \text{ Hz}$ maka nilai V_{dc} , I_{dc} , V_{rms} , I_{rms} , ζ , dan *ripple factor* untuk rangkaian penyearah gelombang penuh tiga fasa tanpa menggunakan filter adalah:

$$V_m = 220 \text{ V}$$

Berdasarkan persamaan 1, maka harga tegangan keluaran rata-rata adalah:

$$\begin{aligned} V_{dc} &= \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m \\ &= \frac{3\sqrt{3}}{\pi} 220 = 363,88 \text{ V} \end{aligned}$$

Berdasarkan persamaan 2, maka harga arus keluaran rata-rata adalah:

$$\begin{aligned} I_{dc} &= \frac{V_{dc}}{R} \\ &= \frac{363,88}{10} = 36,388 \text{ A} \end{aligned}$$

Berdasarkan persamaan 3, maka harga tegangan keluaran rms adalah:

$$\begin{aligned} V_{rms} &= 1,6554 V_m \\ &= 1,6554 \cdot 220 = 364,188 \text{ V} \end{aligned}$$

Berdasarkan persamaan 4, maka harga arus keluaran rms adalah:

$$\begin{aligned} I_{rms} &= \frac{V_{rms}}{R} \\ &= \frac{364,188}{10} = 36,4188 \text{ V} \end{aligned}$$

Selanjutnya mengacu pada persamaan 5, maka diperoleh efisiensi sebesar:

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{V_{dc} \cdot I_{dc}}{V_{rms} \cdot I_{rms}} \\ &= \frac{363,88 \times 36,388}{364,188 \times 36,4188} \times 100 \% \\ &= 99,831 \% \end{aligned}$$

Akhirnya berdasarkan persamaan 6 diperoleh harga *ripple factor* sebesar:

$$\begin{aligned} RF &= \sqrt{\left(\frac{V_{rms}}{V_{dc}}\right)^2} - 1 \\ &= \sqrt{\left(\frac{364,188}{363,88}\right)^2} - 1 \\ &= 0,0412 \text{ atau } 4,12 \% \end{aligned}$$

Bentuk gelombang tegangan dan arus keluaran pada rangkaian penyearah gelombang penuh tiga fasa tanpa *filter* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4 dan 5, sudah berupa gelombang dc, karena semua harga tegangan dan arus berada pada sumbu positif. Namun *output* tegangan dan arus masih belum berbentuk dc murni, karena masih mengandung *ripple* yang cukup besar, yaitu sebesar 2,91 %. Rangkaian penyearah gelombang penuh tiga fasa menggunakan *filter L* (Gambar 6) menghasilkan gelombang *output* tegangan dan arus yang ditunjukkan pada Gambar 7 dan 8. Gelombang *output* tegangan dan arus pada rangkaian ini sudah hampir mendekati dc murni (rata), walaupun masih mengandung sedikit *ripple*.

Bentuk gelombang tegangan dan arus keluaran pada rangkaian penyearah tiga fasa menggunakan *filter C* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 10 dan 11, hasilnya sama dengan gelombang tegangan dan arus keluaran rangkaian penyearah tiga fasa tanpa menggunakan *filter*. Artinya penambahan *filter C* tidak berpengaruh terhadap bentuk gelombang *output* tegangan dan arus penyearah tiga fasa. Sedangkan rangkaian penyearah gelombang penuh tiga fasa menggunakan *filter LC* (Gambar 12) menghasilkan gelombang *output* tegangan dan arus yang ditunjukkan

pada Gambar 13 dan 14. Gelombang keluaran tegangan dan arus pada rangkaian ini sudah mendekati dc murni (rata), tidak mengandung *ripple*, atau dapat dikatakan harga *ripple factor* mendekati nol.

SIMPULAN DAN SARAN

1. Bentuk gelombang tegangan dan arus keluaran pada rangkaian penyearah gelombang penuh tiga fasa tanpa *filter* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4 dan 5, sudah berupa gelombang dc, karena semua harga tegangan dan arus berada pada sumbu positif. Namun *output* tegangan dan arus masih belum berbentuk dc murni, karena masih mengandung *ripple* yang cukup besar, yaitu sebesar 4,12 %.
2. Rangkaian penyearah gelombang penuh tiga fasa menggunakan *filter L* (Gambar 6) menghasilkan gelombang *output* tegangan dan arus yang ditunjukkan pada Gambar 7 dan 8. Gelombang *output* tegangan dan arus pada rangkaian ini sudah hampir mendekati dc murni (rata), walaupun masih mengandung sedikit *ripple*.
3. Bentuk gelombang tegangan dan arus keluaran pada rangkaian penyearah tiga fasa menggunakan *filter C* (Gambar 9) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 10 dan 11, hasilnya sama dengan gelombang *output* tegangan dan arus rangkaian penyearah tiga fasa tanpa menggunakan *filter*. Artinya penambahan *filter C* tidak berpengaruh terhadap bentuk gelombang *output* tegangan dan arus penyearah tiga fasa.

4. Sedangkan rangkaian penyearah gelombang penuh tiga fasa menggunakan *filter LC* (Gambar 12) menghasilkan gelombang *output* tegangan dan arus yang ditunjukkan pada Gambar 13 dan 14. Gelombang keluaran tegangan dan arus pada rangkaian ini sudah mendekati dc murni (rata), tidak mengandung *ripple*, atau dapat dikatakan harga *ripple factor* mendekati nol.
5. Penyearah gelombang penuh tiga fasa menggunakan diode hanya akan menghasilkan *output* tegangan yang nilainya tetap. Untuk mendapatkan *output* tegangan yang bervariasi, sebaiknya digunakan rangkaian penyearah terkendali menggunakan thyristor atau *silicon controled rectifier (SCR)*. Dengan penggunaan thyristor, maka tegangan keluaran penyearah gelombang

penuh tiga fasa semakin bervariasi bergantung pada sudut penyalan thyristor.

DAFTAR PUSTAKA

- Ashari, Mochammad. 2006. *Power Electronic: Single dan Three Phase Rectifier*. Surabaya: Jurusan Teknik Elektro, FTI Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Lander, C.W. 1993. *Power Electronics: Third Edition*. New York: Mc Graw-Hill Book Company.
- Rashid, M.H. 2004. *Power Electronic Circuits, Devices, and Application: Third Edition*. New Jersey. Pearson Prantice Hall, Pearson Education Inc.
- Salam, Z. 2003. *Power Electronic and Drives*. Johor Baru: FKE UTM Skudai.