

PENYEARAH TERKENDALI SATU FASA BERUMPAN BALIK DENGAN PERUBAHAN GAIN PENGENDALI PI (*PROPORTIONAL INTEGRAL*)

Adhi Kusmantoro, ST, MT^[1] Ir. Agus Nuwolo, MT^[2]

^{1,2}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas PGRI Semarang
Jl. Sidodadi Timur No.24 – Dr.Cipto Semarang
Email : adhitekNIK@gmail.com

ABSTRACT

Penyearah Tak-terkendali (penyearah) merupakan rangkaian yang mengubah sumber tegangan arus bolak-balik (AC) menjadi sumber tegangan arus searah (DC) tetap. Penyearah terkendali (konverter) merupakan rangkaian yang mengubah sumber tegangan AC menjadi sumber tegangan DC yang dapat dikendalikan/diatur. Dalam perancangan rangkaian penyearah terkendali dapat dilakukan dengan umpan balik tegangan menggunakan pengendali PI (Proporsional Integral). Pemakaian pengendali proporsional integral (PI) pada penyearah terkendali satu fasa dan tiga fasa tanpa umpan balik tidak berpengaruh terhadap besarnya amplitudo tegangan dan arus beban, sehingga amplitudo tegangan dan arus beban tidak dapat dikendalikan. Pemasangan beban R, beban R-L, beban R-C pada penyearah terkendali umpan balik satu fasa dan tiga fasa, amplitudo tegangan dan arus beban dapat dikendalikan dengan mengatur harga proporsional integral. Semakin besar nilai proporsional integral (PI) maka amplitudo tegangan dan arus beban juga bertambah besar. Pada penyearah setengah gelombang tiga fasa, penggunaan beban R-L mengakibatkan perubahan tegangan dan arus beban yang lambat jika dibandingkan menggunakan beban R. Penyearah terkendali satu fasa dengan beban R-L-C menghasilkan amplitudo tegangan dan beban yang tetap, sehingga penggunaan pengendali proporsional integral kurang begitu berpengaruh terhadap keluaran pada beban.

Kata Kunci : Penyearah Terkendali, Thyristor, Pengendali PI

1. PENDAHULUAN

Rangkaian elektronika daya merupakan suatu rangkaian listrik yang dapat mengubah sumber daya listrik dari bentuk gelombang tertentu (seperti bentuk gelombang sinusoida) menjadi sumber daya listrik dengan bentuk gelombang lain (seperti gelombang nonsinusoida atau gelombang arus searah) dengan menggunakan piranti semikonduktor daya. Semikonduktor daya memiliki peranan penting dalam rangkaian elektronika daya. Semikonduktor daya dalam rangkaian

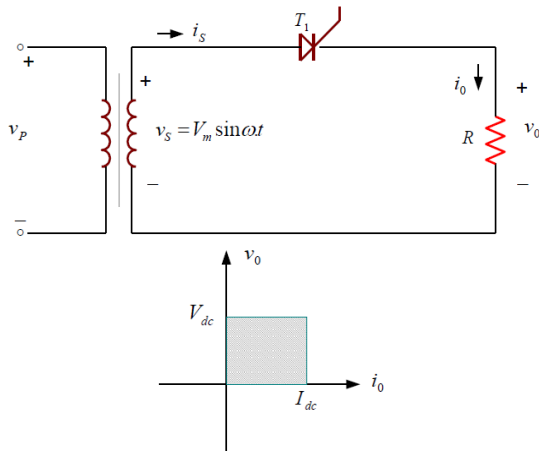
elektronika daya umumnya dioperasikan sebagai sakelar (*switching*), pengubah (*converting*), dan pengatur (*controlling*) sesuai dengan unjuk kerja rangkaian elektronika daya yang diinginkan. Aplikasi rangkaian elektronika daya biasanya digunakan pada peralatan konversi daya listrik yang besar; seperti : transmisi daya listrik, pengaturan motor listrik secara elektronis di industri, hingga peralatan listrik keperluan sehari-hari. Sebagai contoh pengaturan lampu (*dimmer*) dan *Uninterruptable Power Supply* (UPS)

merupakan aplikasi rangkaian elektronika daya yang sering dijumpai dalam pemakaian sehari-hari. Penyearah Tak-terkendali (penyearah) merupakan rangkaian yang mengubah sumber tegangan arus bolak-balik (AC) menjadi sumber tegangan arus searah (DC) tetap. Penyearah terkendali (konverter) merupakan rangkaian yang mengubah sumber tegangan AC menjadi sumber tegangan DC yang dapat dikendalikan/diatur. Penyearah terkendali banyak digunakan untuk rangkaian *inverter* dan *soft starter*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang penyearah terkendali yang mempunyai kestabilan tegangan keluaran dengan perubahan beban, harmonik tegangan yang rendah dan daya keluaran yang besar. Hasil penelitian dapat menjadi salah satu informasi, evaluasi, dan referensi Universitas PGRI Semarang dalam merancang penyearah terkendali secara efektif. Dari data/informasi yang berupa tegangan, arus, dan harmonisa tegangan dari rancangan rangkaian pengendali thyristor dapat digunakan untuk banyak aplikasi elektronika daya, misalnya *variabel speed drive*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Penyearah *thyristor* dengan sudut fasa terkendali merupakan penyearah yang

sederhana, lebih murah, dan efisiensi penyearah ini diatas 95%. Thyristor dapat dikendalikan sudut fasanya dengan memberikan sinyal kendali atau sinyal pemicu pada gerbangnya. Aplikasi penyearah terkendali banyak digunakan di industri khususnya pada *variable speed drives* motor induksi dengan daya rendah sampai dengan daya yang tinggi. Penyearah terkendali dapat dikelompokkan dalam dua jenis tergantung pada sumber tegangan masukannya, yaitu penyearah terkendali satu fasa dan penyearah terkendali tiga fasa. Selain itu konverter penyearah terkendali dapat digolongkan lagi, yaitu semikonverter, konverter setengah gelombang, konverter gelombang penuh, dan dual konverter. Semikonverter merupakan konverter satu kuadran dan hanya memiliki satu polaritas tegangan dan arus keluaran. Konverter gelombang penuh merupakan konverter dua kuadran yang dapat mempunyai tegangan keluaran positif maupun negatif. Sedangkan arus keluaran konverter gelombang penuh hanya berharga positif. Dual konverter akan bekerja pada empat kuadran dan dapat menghasilkan tegangan maupun arus keluaran yang berharga positif maupun negatif (Rashid, Power Electronics).



Gambar 2.1 Konverter *thyristor* setengah gelombang

Jika V_m adalah tegangan masukan maksimum, maka tegangan keluaran rata-rata dan rms dapat diturunkan sebagai berikut :

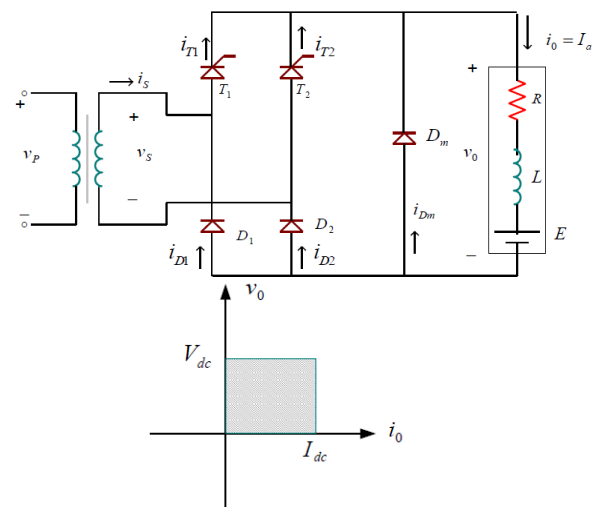
$$V_{dc} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m \sin \omega t . dt = \frac{V_m}{2\pi} \left[-\cos \omega t \right]_{\alpha}^{\pi}$$

$$V_{dc} = \frac{V_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha) \quad (2.1)$$

$$V_{rms} = \left[\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m^2 \sin^2 \omega t . dt \right]^{1/2}$$

$$= \left[\frac{V_m^2}{4\pi} \int_{\alpha}^{\pi} (1 - \cos 2\omega t) . dt \right]^{1/2}$$

$$V_{rms} = \frac{V_m}{2} \left[\frac{1}{\pi} \left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \right]^{1/2} \quad (2.2)$$



Gambar 2.2 Rangkaian semikonverter satu fasa

Konverter gelombang penuh satu fasa banyak digunakan di industri dengan rating daya sampai dengan 15 kW. Konverter jenis ini sangat tergantung pada sudut penyalan α , sehingga tegangan keluaran rata-rata dapat berharga positif maupun negatif dan beroperasi pada dua kuadran. Tegangan keluaran rata-rata konverter gelombang penuh satu fasa dapat ditentukan sebagai berikut (Mohan, Power Electronics):

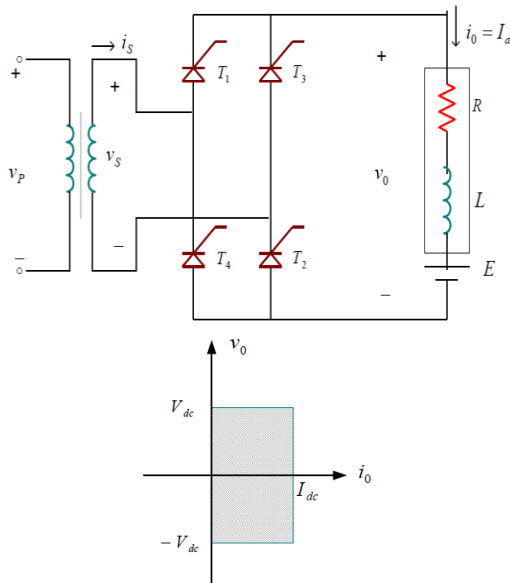
$$V_{dc} = \frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} V_m \sin \omega t . dt = \frac{2V_m}{2\pi} \left[-\cos \omega t \right]_{\alpha}^{\pi+\alpha}$$

$$V_{dc} = \frac{2V_m}{2\pi} \cos \alpha \quad (2.3)$$

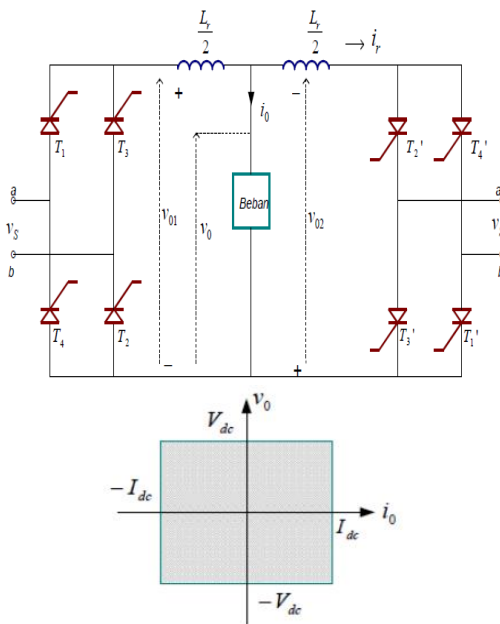
$$V_{rms} = \left[\frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} V_m^2 \sin^2 \omega t . dt \right]^{1/2}$$

$$= \left[\frac{V_m^2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} (1 - \cos 2\omega t) . dt \right]^{1/2}$$

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = V_s \quad (2.4)$$



Gambar 2.3 Konverter gelombang penuh satu fasa



Gambar 2.4 Rangkaian konverter dual satu fasa

Konverter dual satu fasa banyak digunakan pada variabel speed drive motor induksi. Sudut α_1, α_2 adalah sudut penyalan konverter 1 dan 2. Jika konverter yang

pertama bekerja sebagai penyearah maka konverter yang kedua akan bekerja sebagai inverter. Kedua konverter akan menghasilkan tegangan keluaran rata-rata yang sama. Tegangan keluaran rata-rata konverter dual satu fasa ditentukan dengan persamaan sebagai berikut (Rashid, Power Electronics):

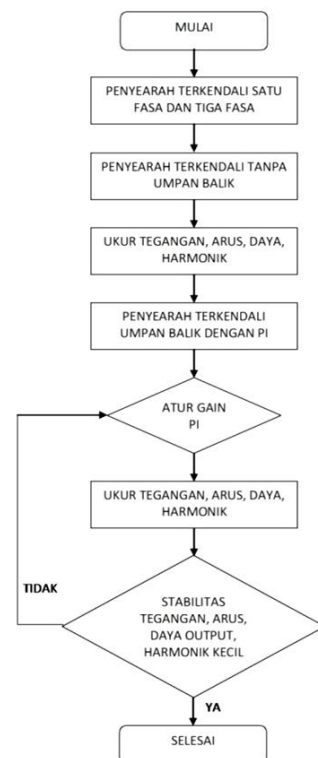
$$V_{dc1} = \frac{2V_m}{\pi} \cos \alpha_1 \quad (2.5)$$

$$V_{dc2} = \frac{2V_m}{\pi} \cos \alpha_2 \quad (2.6)$$

$$V_{dc1} = -V_{dc2} \text{ atau}$$

$$\cos \alpha_2 = -\cos \alpha_1 = \cos(\pi - \alpha_1)$$

3. METODE PENELITIAN

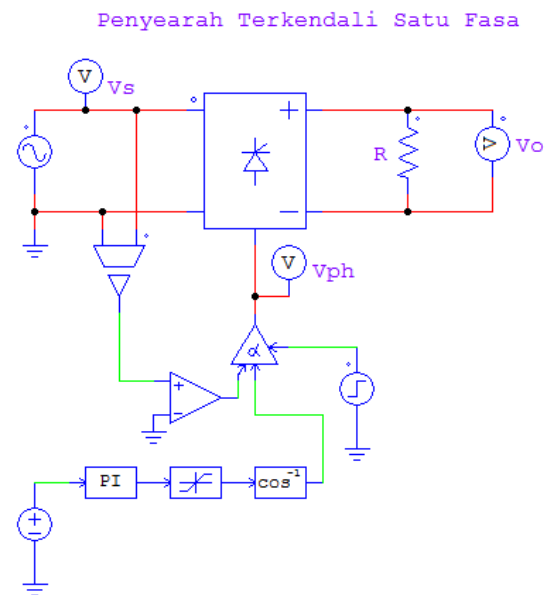


Gambar 3.1 Algoritma penelitian

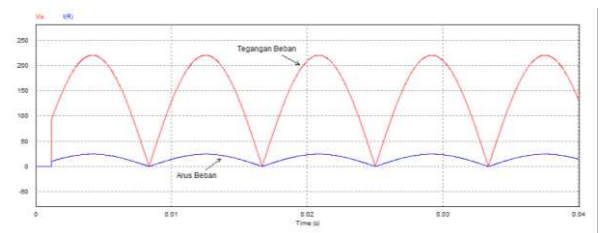
Pendekatan yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif. Kebutuhan masyarakat industri akan pemakaian penyearah terkendali untuk mengendalikan mesin – mesin di industri dengan kualitas yang baik pada saat sekarang sangat dibutuhkan, karena sangat mempengaruhi proses produksi. Populasi dalam penelitian ini adalah rangkaian penyearah terkendali satu fasa dan penyearah terkendali tiga fasa. Pengambilan sampel dilakukan dengan membuat model simulasi menggunakan Power Simulator (PSim 9.2) dan implementasi rangkaian berdasarkan rancangan model. Sampel diperoleh dengan mengambil data baik pada masukan maupun pada beban. Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini adalah variabel atau besaran listrik yang meliputi tegangan beban, arus beban, daya beban, dan harmonisa tegangan. Teknik pengumpulan data atau pengambilan datadilakukan dengan melakukan pengujian model simulasi menggunakan beban yang berbeda. Beban yang digunakan berupa beban resistif (R), induktif (L), dan kapasitif (C) dan pemasangannya secara seri maupun paralel. Model rangkaian menggunakan sumber satu fasa dan tiga fasa

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

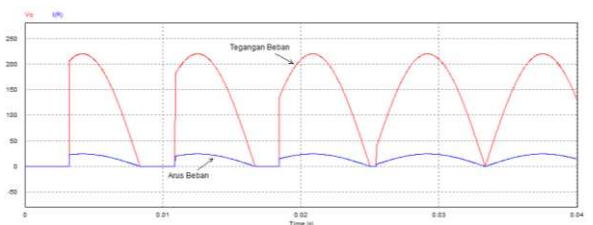
A. Tanpa Umpan Balik



Gambar 4.1 Rangkaian penyearah terkendali tanpa umpan balik.



Gambar 4.2 Bentuk gelombang keluaran pada pengaturan PI = 91.



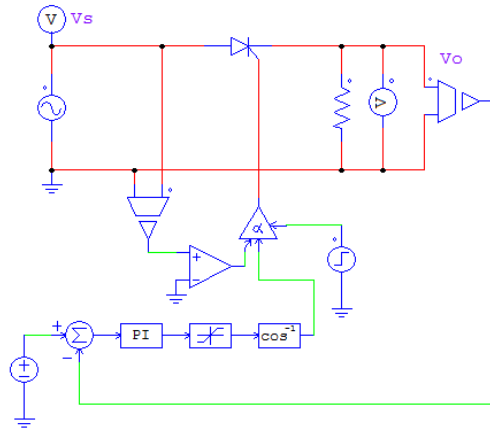
Gambar 4.3 Bentuk gelombang keluaran pada pengaturan PI = 31.

Dengan pengaturan harga proporsional integral (PI) pada penyearah terkendali satu fasa tanpa umpan balik tidak berpengaruh terhadap amplitudo tegangan dan arus

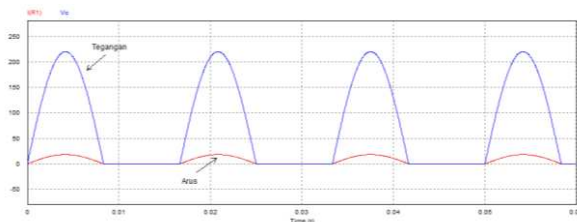
beban. Pengaruhnya hanya pada bentuk gelombang tegangan dan arus beban.

B. Dengan Umpan Balik.

Penyearah Setengah Gelombang Satu Fasa

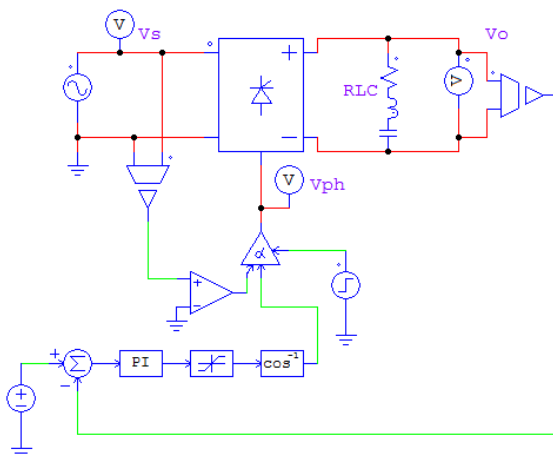


Gambar 4.4 Rangkaian penyearah terkendali setengah gelombang.



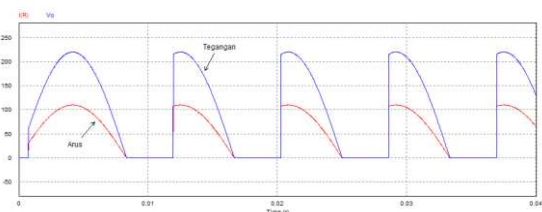
Gambar 4.5 Bentuk gelombang keluaran penyearah setengah gelombang

Penyearah Terkendali Satu Fasa

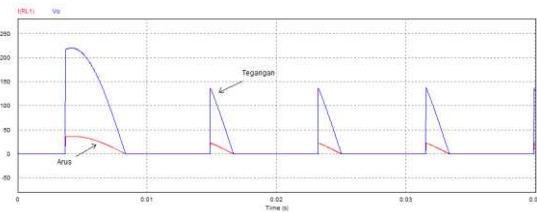


Gambar 4.6 Rangkaian penyearah terkendali gelombang penuh beban R-L-C.

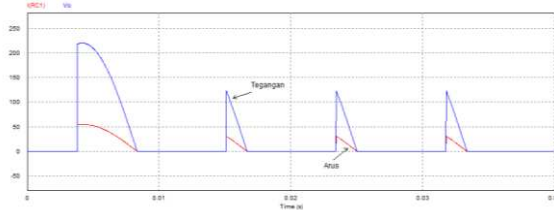
Dalam perancangan penyearah terkendali satu fasa dengan umpan balik, maka tegangan keluaran pada beban memberikan sinyal umpan balik yang dibandingkan dengan tegangan masukan melalui komparator Op-Amp. Selisih sinyal ini akan digunakan sebagai sinyal pemicu pada thyristor. Beban R-L-C pada rangkaian gambar 4.6 dapat diganti dengan beban R, beban R-L, dan beban R-C. Penggunaan beban resistif memperlihatkan bahwa amplitudo tegangan beban akan berkurang pada saat menggunakan nilai proporsional integral yang rendah, sehingga semakin rendah harga parameter proporsional integral maka amplitudo tegangannya akan semakin kecil. Beban R-L yang digunakan dalam penyearah terkendali satu fasa dengan kapasitas 6 ohm dan 0.01 mH, sedangkan beban R-C dengan kapasitas 4 ohm dan 800 F. Beban R-L-C seri yang digunakan dalam penyearah terkendali gambar 4.6 dengan kapasitas 4 ohm, 0,01 mH, dan 0,8 μ F.



Gambar 4.7 Bentuk gelombang tegangan dan arus pada pengaturan PI = 100 beban R.

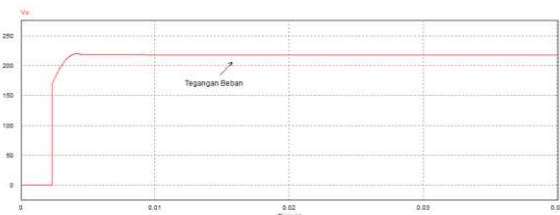


Gambar 4.8 Bentuk gelombang tegangan dan arus pada pengaturan PI = 15 beban RL.

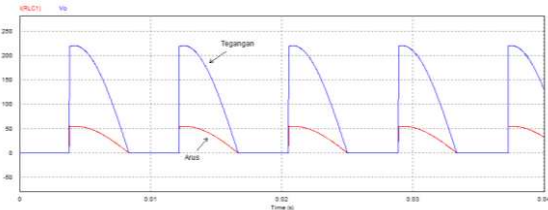


Gambar 4.9 Bentuk gelombang tegangan dan arus pada pengaturan PI = 12 beban RC.

Jika kapasitas beban R-C pada rangkaian penyearah terkendali gelombang penuh satu fasa berubah menjadi 400 ohm dan $0,8\mu\text{F}$, makasemakin besar nilai proporsional integral akan menyebabkan respon keluaran semakin cepat mencapai amplitudo tegangan beban yang diinginkan.



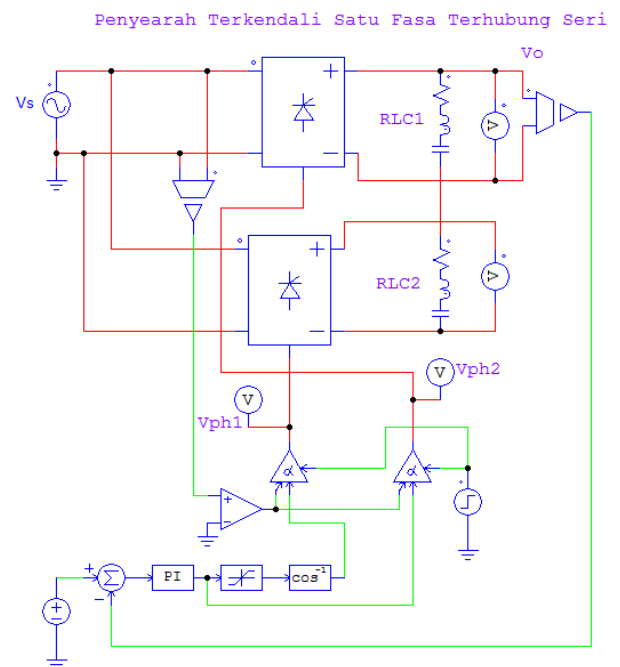
Gambar 4.10 Bentuk gelombang tegangan beban pada pengaturan PI = 58 beban RC.



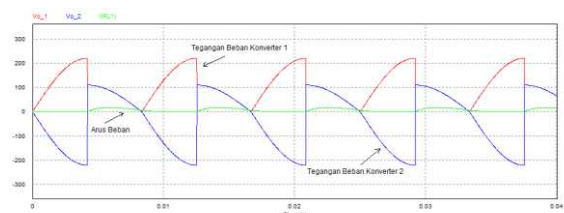
Gambar 4.11 Bentuk gelombang tegangan dan arus pada pengaturan PI = 17 beban RLC.

C. Penyearah Terkendali Terhubung Seri

Dalam perancangan pada gambar 4.12 digunakan dua buah penyearah terkendali dengan beban R-L terhubung secara seri dan kapasitas beban yang digunakan masing-masing 50 ohm dan 0,006 H. Hasil pengujian memperlihatkan kedua konverter menghasilkan amplitudo tegangan yang sama besar dan saling berlawanan.



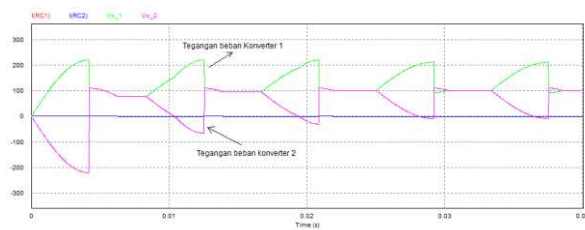
Gambar 4.12 Rangkaian dual konverter satu fasa beban RLC.



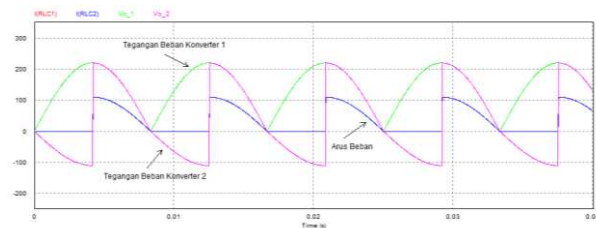
Gambar 4.13 Bentuk gelombang tegangan keluaran beban RL.

Tabel 4.1 Hasil pengujian penyearah terkendali

No	Jenis Konverter	Beban	Harga PI	Tegangan (Volt)	Arus (Ampers)	Daya (Watt)	%THDv		
Penyearah Setengah Gelombang									
1	Umpan Balik	R	29	219,99	18,33	1120,37	1,91		
			91	219,99	18,33	1120,37	1,91		
Penyearah Gelombang Penuh									
1	Tanpa Umpan Balik	R	31	219,99	24,44	2501,61	1,92		
			91	219,99	24,44	2.765,27	8,68		
3	Umpan Balik	R	20	153,39	76,69	2.407,74	1,73		
			100	219,99	109,99	8.800,73	8,29		
			226	219,99	109,99	12,48	8,68		
			15	133,91	22,38	675,19	1,38		
		RL	85	219,99	36,75	2.592,77	6,99		
			240	219,99	36,66	4.161,13	8,68		
			12	121,46	30,37	902,27	4,11		
			115	219,99	54,99	4.589,89	1,94		
		RC	230	219,99	54,99	6.216,74	1,87		
			17	218,66	55,65	3.558,74	1,88		
			RLC	120	219,99	54,99	5.434,53	0,23	
				220	219,99	54,99	6.091,47	0,19	
		4	Terhubung Seri	RL	8	105,43	21,18	1.169,81	8,93
					24	105,43	21,18	1.169,81	8,93



Gambar 4.14 Bentuk gelombang tegangan keluaran beban RC.



Gambar 4.15 Bentuk gelombang tegangan keluaran beban RLC.

5. KESIMPULAN

1. Pemakaian pengendali proporsional integral (PI) pada penyearah terkendali satu fasa tanpa umpan balik tidak berpengaruh terhadap besarnya amplitudo tegangan dan arus beban, sehingga amplitudo tegangan dan arus beban tidak dapat dikendalikan.

2. Pemasangan beban R, beban R-L, beban R-C pada penyearah terkendali umpan balik satu fasa, amplitudo tegangan dan arus beban dapat dikendalikan dengan mengatur harga proporsional integral. Semakin besar nilai proporsional integral (PI) maka amplitudo tegangan dan arus beban juga bertambah besar.
3. Penyearah terkendali satu fasa dengan beban R-L-C menghasilkan amplitudo tegangan dan beban yang tetap, sehingga penggunaan pengendali proporsional integral kurang begitu berpengaruh terhadap keluaran pada beban.
4. Pada penyearah setengah gelombang satu fasa dengan umpan balik, pengaturan harga proporsional integral tidak berpengaruh terhadap besarnya amplitudo tegangan beban.

DAFTAR PUSTAKA

- Hart, DW.(1997), *Introduction to Power Electronics*, Indiana: Prentice-Hall International, Inc.
- IEEE Transactions on Power Electronics.
- IEEE Transactions on Industry Applications.
- IEEE Transactions on Industrial Electronics.

- Kassakian (1991), Schlecht, and Verghese, *Principles of Power Electronics*, Addison Wesley.
- Mohan (2003), Undeland, Robbins, *Power Electronics*, 3rd ed., Wiley.
- P. Krein (1998), *Elements of Power Electronics*, Oxford.
- Rashid, MH. (1988), *Power Electronics: Circuits, devices and application*, New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Rashid (2004), *Power Electronics*, 3rd ed., Prentice Hall