

ELEKTRONIKA

Lanjutan

Elektronika Lanjut

Herman Dwi Surjono, Ph.D.

Elektronika Lanjut

Disusun Oleh: **Herman Dwi Surjono, Ph.D.**

© 2009 All Rights Reserved

Hak cipta dilindungi undang-undang

Penyunting : **Tim Cerdas Ulet Kreatif**

Perancang Sampul : **Dhega Febiharsa**

Tata Letak : **Dhega Febiharsa**

Diterbitkan Oleh:

Penerbit Cerdas Ulet Kreatif

Jl. Manggis 72 RT 03 RW 04 Jember Lor – Patrang

Jember - Jawa Timur 68118

Telp. 0331-422327 Faks. 0331422327

Katalog Dalam Terbitan (KDT)

Herman Dwi Surjono, **Elektronika Lanjut**/Herman Dwi Surjono, Penyunting:
Tim Cerdas Ulet Kreatif, 2009, 104 hlm; 14,8 x 21 cm.

ISBN 978-602-98174-6-1

1. Hukum Administrasi	I. Judul
II. Tim Cerdas Ulet Kreatif	104

Distributor:

Penerbit CERDAS ULET KREATIF

Website : www.cerdas.co.id - email : buku@cerdas.co.id

Cetakan Kedua, 2011

Undang-Undang RI Nomor 19 Tahun 2002 Tentang Hak Cipta

Ketentuan Pidana

Pasal 72 (ayat 2)

1. Barang Siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau hak terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

Kata Pengantar

Buku ini diperuntukkan bagi siapa saja yang ingin mengetahui elektronika baik secara teori, konsep dan penerapannya. Pembahasan dilakukan secara komprehensif dan mendalam mulai dari pemahaman konsep dasar hingga ke taraf kemampuan untuk menganalisis dan mendesain rangkaian elektronika. Penggunaan matematika tingkat tinggi diusahakan seminimal mungkin, sehingga buku ini bias digunakan oleh berbagai kalangan. Pembaca dapat beraktivitas dengan mudah karena didukung banyak contoh soal dalam hamper setiap pokok bahasan serta latihan soal pada setiap akhir bab. Beberapa rangkaian penguat sedapat mungkin diambilkan dari pengalaman praktikum.

Sebagai pengetahuan awal, pemakai buku ini harus memahami teori dasar rangkaian DC dan matematika dasar. Teori Thevenin, Norton, dan Superposisi juga digunakan dalam beberapa pokok bahasan. Di samping itu penguasaan penerapan hukum Ohm dan Kirchhoff merupakan syarat mutlak terutama pada bagian analisis dan perancangan.

Bab 1 membahas bermacam-macam regulator tegangan beserta prinsip kerjanya. Bab 2 membahas tanggapan frekuensi beserta analisis frekuensi rendah dan frekuensi tinggi. Selanjutnya pada bab 3 dibahas berbagai rangkaian bertingkat mulai dari kaskade, darlington hingga CMOS. Pembahasan tentang penguat operasi yang didahului dengan penguat beda dan dilanjutkan dengan berbagai penggunaan Op-Amp seperti penguat inverting dan non-

inverting terdapat pada bab 4. Dan akhirnya bab 5 dari buku ini membahas umpan balik yang dimulai dari konsep dasar hingga analisis berbagai jenis umpan balik.

Semoga buku ini bermanfaat bagi siapa saja. Saran-saran dari pembaca sangat diharapkan.

Yogyakarta, Agustus 2009

Penulis,

Herman Dwi Surjono, Ph.D.

Dosen Jurusan Pendidikan Teknik Elektronika, FT- UNY

Daftar Isi

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
1. REGULATOR TEGANGAN	1
1.1. Pendahuluan	1
1.2. Regulator Tegangan Seri	2
1.3. Regulator Tegangan Paralel	6
1.4. Regulator Tegangan IC	8
1.5. Ringkasan	10
1.6. Soal Latihan	10
2. RESPON FREKUENSI	11
2.1. Pendahuluan	11
2.2. Tanggapan Frekuensi	12
2.3. Analisis Frekuensi Rendah	14
2.4. Respon Frekuensi Rendah	16
2.5. Respon Frekuensi Tinggi	22
2.6. Ringkasan	32
2.7. Soal Latihan	32
3. RANGKAIAN BERTINGKAT	35
3.1. Pendahuluan	35
3.2. Hubungan Kaskade	36
3.3. Hubungan Cascode	39
3.4. Hubungan Darlington	42
3.5. Hubungan Pasangan Umpan Balik (<i>Feedback Pair</i>)	45
3.6. Rangkaian CMOS	49
3.7. Ringkasan	51
3.8. Soal Latihan	52
4. PENGUAT OPERASI	53
4.1. Pendahuluan	53
4.2. Penguat Beda	53
4.3. Penguat Operasi (<i>Op-Amp</i>) Ideal	61
4.4. Penguat Inverting	63
4.5. Penguat Non-Inverting	64
4.6. Ringkasan	66
4.7. Soal Latihan	67
5. UMPAN BALIK	69
5.1. Pendahuluan	69
5.2. Konsep dan Jenis Umpan Balik	69
5.3. Analisis Penguat Umpan Balik Tegangan-Seri	73
5.4. Analisis Penguat Umpan Balik Arus-Paralel	79

5.5. Analisis Penguat Umpan Balik Tegangan-Paralel	81
5.6. Analisis Penguat Umpan Balik Arus-Seri	83
5.7. Ringkasan	85
5.8. Soal Latihan	86
DAFTAR PUSTAKA	87
LAMPIRAN	89
INDEKS	91

Bab 1

REGULATOR TEGANGAN

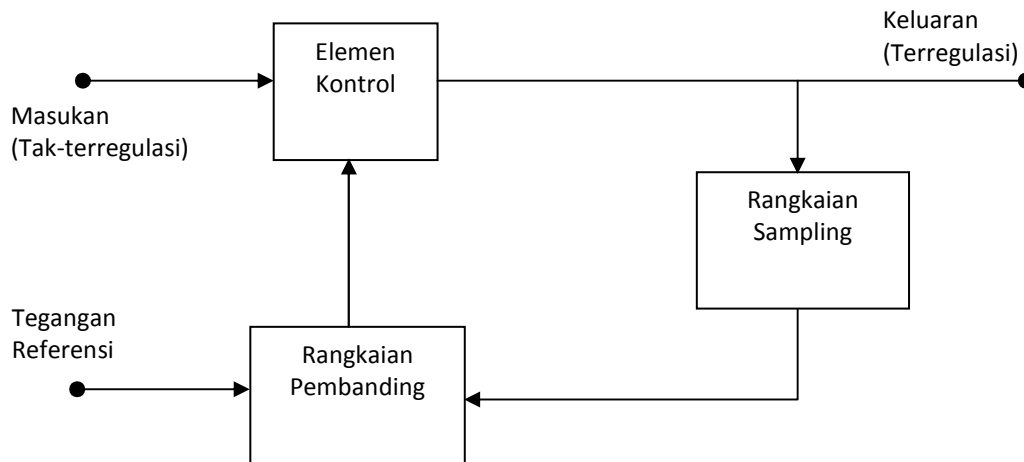
1.1 Pendahuluan

Regulator tegangan digunakan untuk menyetabilkan keluaran tegangan dari sumber daya atau power supply. Unit sumber daya (power supply) biasanya terdiri atas rangkaian penyearah dan filter. Keluaran tegangan dari sumber daya yang belum distabilkan sangat dipengaruhi oleh perubahan tegangan masukan (listrik jala-jala) dan perubahan beban. Oleh karena itu tujuan regulator tegangan adalah untuk mengatasi kedua pengaruh tersebut, sehingga diperoleh tegangan keluaran yang stabil.

Pada bab ini tidak akan dibahas rangkaian dan analisis yang mendahului regulator tegangan tersebut, karena masalah penyearah dan filter sudah dibahas pada buku sebelumnya. Dengan demikian pembahasan difokuskan pada macam-macam regulator tegangan dan penerapannya.

1.2 Regulator Tegangan Seri

Secara blok diagram regulator tegangan seri dapat ditunjukkan pada gambar 1. Meskipun secara fisik masing-masing blok agak sulit diidentifikasi dalam rangkaian yang sesungguhnya, namun secara fungsional blok-blok tersebut menunjukkan kerjanya.



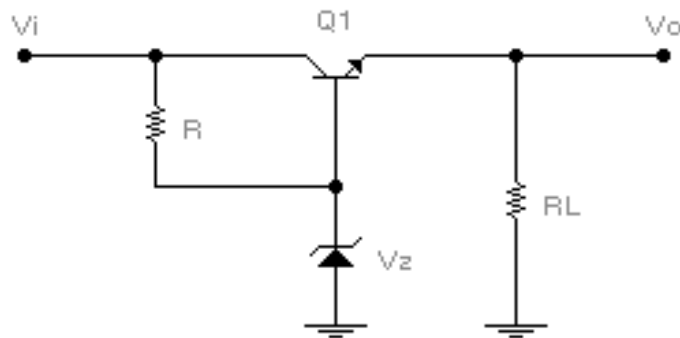
Gambar 1. Blok diagram regulator tegangan seri

Pada blok diagram tersebut, elemen kontrol yang dihubungkan seri dengan beban mengontrol besarnya tegangan masukan yang akan menuju keluaran. Tegangan keluaran dicuplik oleh rangkaian sampling sehingga diperoleh tegangan umpan balik untuk kemudian dibandingkan dengan tegangan referensi.

Apabila tegangan keluaran naik, maka rangkaian pembanding memberikan sinyal kontrol kepada elemen kontrol sehingga elemen kontrol ini menurunkan besarnya tegangan keluaran. Dengan demikian elemen kontrol berusaha untuk menyetabilkan tegangan keluaran.

Apabila tegangan keluaran turun, maka rangkaian pembanding memberikan sinyal kontrol kepada elemen kontrol sehingga elemen kontrol ini menaikkan besarnya tegangan keluaran. Dengan demikian elemen kontrol berusaha untuk menyetabilkan tegangan keluaran.

Beberapa contoh rangkaian regulator tegangan seri akan dijelaskan berikut ini.



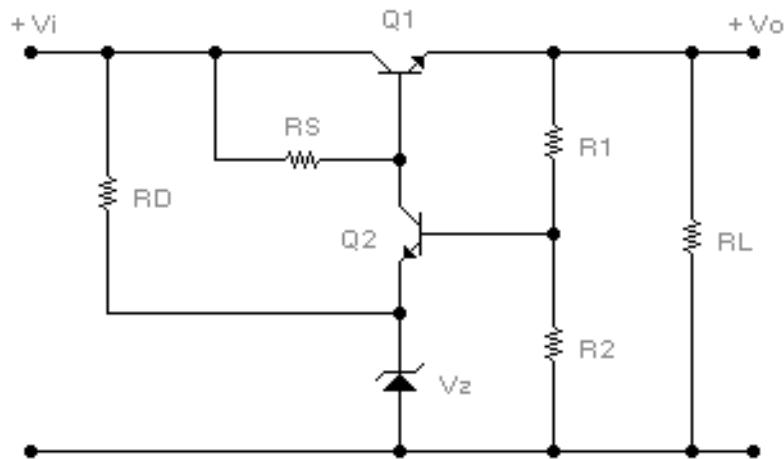
Gambar 2. Rangkaian regulator seri 1 transistor

Gambar 2 merupakan rangkaian regulator tegangan seri yang sederhana, yakni menggunakan sebuah transistor dan sebuah dioda zener. Transistor $Q1$ berfungsi sebagai elemen kontrol dan dioda zener berfungsi untuk memberikan tegangan referensi sebesar V_z . Prinsip kerja rangkaian regulator tersebut adalah sebagai berikut:

Apabila tegangan masukan (V_i) turun, maka tegangan keluaran (V_o) cenderung akan turun. Tegangan V_o yang turun ini bila dibanding dengan tegangan referensi (V_z) yang tetap, maka akan menyebabkan tegangan V_{BE} menjadi lebih besar dengan kata lain transistor $Q1$ menjadi lebih menghantar. Istilah transistor lebih menghantar berarti arus I_C lebih besar, sehingga V_{CE} lebih kecil dan turun tegangan pada R_L menjadi lebih besar. Dengan demikian apabila tegangan V_i turun maka transistor akan berusaha menyetabilkan tegangan V_o dengan jalan menaikkannya.

Apabila tegangan masukan (V_i) naik, maka tegangan keluaran (V_o) cenderung akan naik. Tegangan V_o yang naik ini bila dibanding dengan tegangan referensi (V_z) yang tetap, maka akan menyebabkan tegangan V_{BE} menjadi lebih kecil dengan kata lain transistor $Q1$ menjadi kurang menghantar. Istilah transistor kurang menghantar berarti arus I_C lebih kecil, sehingga V_{CE} lebih besar dan turun tegangan pada R_L menjadi lebih kecil. Dengan demikian apabila tegangan V_i naik maka transistor akan berusaha menyetabilkan tegangan V_o dengan jalan menurunkannya.

Untuk mendapatkan hasil penyetabilan yang lebih baik, gambar 1 tersebut diperbaiki dengan menambah sebuah transistor lagi seperti ditunjukkan pada gambar 2 berikut.



Gambar 2a. Rangkaian regulator seri 2 transistor

Pada rangkaian regulator ini (gambar 2a), R1 dan R2 berfungsi sebagai rangkaian sampling yang akan mencuplik tegangan keluaran. Kenaikan atau penurunan tegangan akan dirasakan pada kaki Basis Q2. Sedangkan Dioda zener memberikan tegangan referensi yang tetap sebesar V_z . Kondisi Q2 akan mengontrol arus basis transistor Q1 yang kemudian akan mengontrol arus yang mengalir (IC) pada transistor Q1 tersebut dan akhirnya dapat menyetabilkan tegangan keluaran.

Prinsip kerja rangkaian regulator tersebut adalah sebagai berikut:

1. Apabila tegangan masukan (V_i) turun, maka tegangan keluaran (V_o) cenderung akan turun. Penurunan V_o ini dirasakan oleh pembagi tegangan R1 dan R2, sehingga tegangan V_B pada Q2 akan turun. Oleh karena V_z tetap, maka V_{BE2} akan turun. Selanjutnya Q2 kurang menghantar, yang berarti arus I_{C2} menurun. Karena kolektor Q2 langsung terhubung ke basis Q1, maka V_{BE1} menjadi naik (disebabkan V_{C2} naik atau I_{C2} turun), dengan kata lain transistor Q1 menjadi lebih menghantar. Istilah transistor lebih menghantar berarti arus I_{C1} lebih besar, sehingga V_{CE1} lebih kecil dan turun tegangan pada R_L menjadi lebih besar. Dengan demikian apabila tegangan V_i turun maka transistor akan berusaha menyetabilkan tegangan V_o dengan jalan menaikkannya.
2. Apabila tegangan masukan (V_i) naik, maka tegangan keluaran (V_o) cenderung akan naik. Kenaikan V_o ini dirasakan oleh pembagi tegangan R1 dan R2, sehingga tegangan V_B pada Q2 akan naik juga. Oleh karena V_z tetap, maka V_{BE2} akan naik. Selanjutnya Q2 menjadi lebih menghantar, yang berarti arus I_{C2} menjadi naik. Karena kolektor Q2 langsung ter-

hubung ke basis Q1, maka V_{BE1} menjadi turun (disebabkan V_{C2} turun atau I_{C2} naik), dengan kata lain transistor Q1 menjadi kurang menghantar. Istilah transistor kurang menghantar berarti arus I_{C1} menjadi turun, sehingga V_{CE1} lebih besar dan turun tegangan pada R_L menjadi lebih kecil. Dengan demikian apabila tegangan V_i naik maka transistor akan berusaha menyetabilkan tegangan V_o dengan jalan menurunkannya.

Turun tegangan pada R_2 , V_{R2} (atau V_{B2}) adalah:

$$V_{B2} = V_{R2} = \left\{ \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right\} \cdot V_o$$

Sedangkan pada masukan Q2 berlaku:

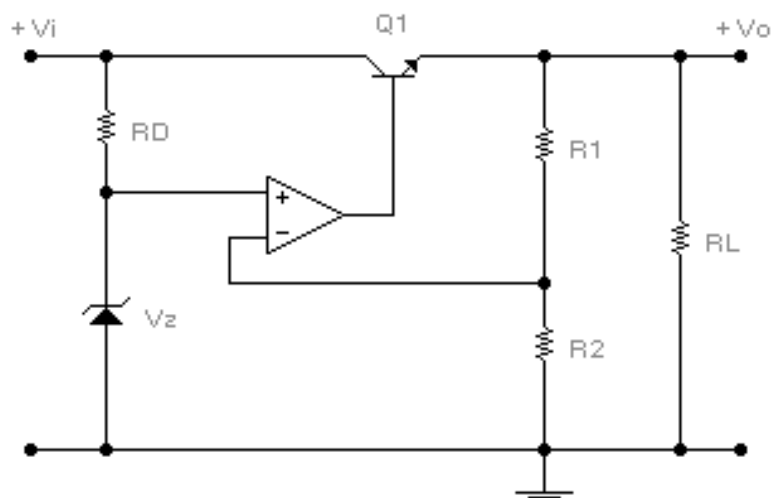
$$V_{B2} = V_{BE2} + V_z$$

Sehingga diperoleh persamaan tegangan keluaran sbb:

$$V_o = \left\{ \frac{R_1 + R_2}{R_2} \right\} \cdot (V_z + V_{BE2})$$

Contoh rangkaian regulator tegangan seri dengan menggunakan transistor dan Op-Amp (Op-Amp akan dibicarakan pada bab mendatang) ditunjukkan pada gambar 3. Pada rangkaian ini Op-Amp akan membandingkan tegangan umpan balik yang dicuplik dari keluaran dengan tegangan referensi V_z . Apabila tegangan keluaran bervariasi, maka Op-Amp akan mengontrol arus basis Q1, sehingga Q1 dapat menyetabilkan tegangan keluaran V_o . Tegangan keluaran V_o dapat diperoleh dengan persamaan berikut:

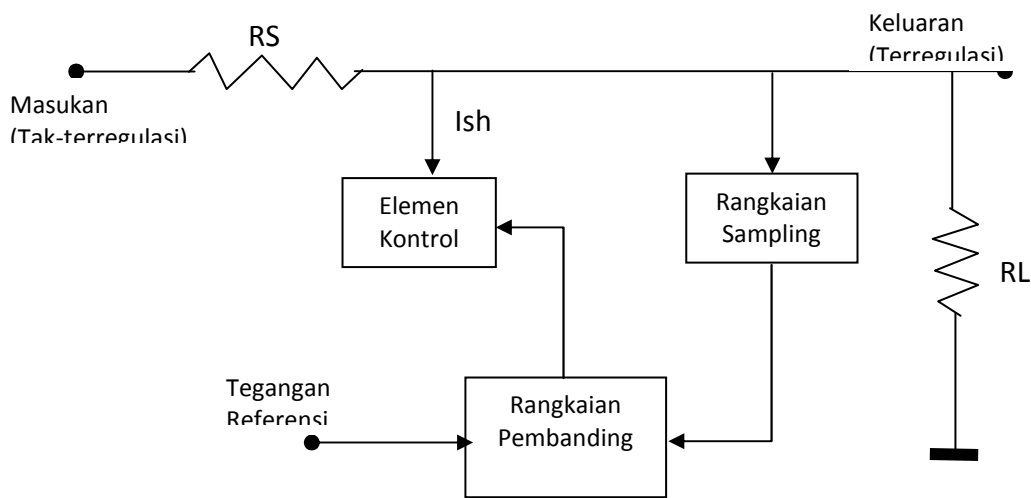
$$V_o = \left\{ 1 + \left(\frac{R_1}{R_2} \right) \right\} \cdot (V_z)$$



Gambar 3. Rangkaian regulator tegangan seri dengan Op-Amp

1.3 Regulator Tegangan Paralel

Regulator tegangan paralel melakukan pengontrolan tegangan keluaran V_o dengan cara melewatkan sebagian arus beban (arus keluaran) melalui komponen pengontrol yang terhubung paralel dengan beban. Regulator ini terutama dipakai untuk beban bervariasi. Istilah beban ringan berarti memerlukan arus kecil, sehingga tegangan beban (tegangan keluaran, V_o) cenderung untuk naik. Sedangkan beban berat berarti memerlukan arus besar, sehingga tegangan beban (tegangan keluaran, V_o) cenderung untuk turun. Secara blok diagram regulator tegangan paralel terlihat pada gambar 4.



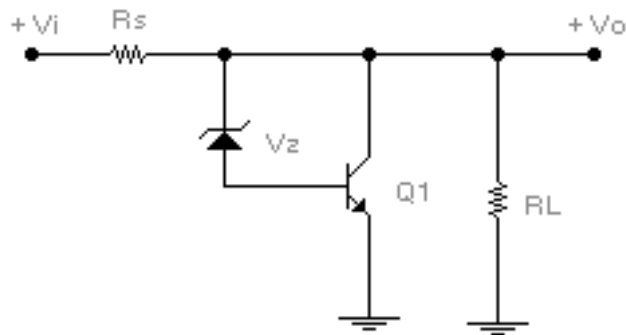
Gambar 4. Blok diagram regulator tegangan paralel

Pada regulator tegangan paralel, sebagian arus yang berasal dari tegangan masukan (V_i) juga dilewatkan ke elemen kontrol (I_{sh}) disamping diberikan ke beban (I_L). Apabila terjadi perubahan beban (I_L naik atau turun), maka tegangan keluaran juga cenderung untuk berubah. Perubahan ini dirasakan oleh rangkaian sampling yang kemudian akan memberikan sinyal umpan balik kepada pembanding. Rangkaian pembanding berdasarkan sinyal umpan balik dan tegangan referensi akan memberikan sinyal ke pengontrol agar dapat mengalirkan arus I_{sh} sesuai dengan kebutuhan, sehingga memberikan efek penyetabilan tegangan keluaran V_o .

Contoh rangkaian regulator tegangan paralel yang sederhana dapat dilihat pada gambar 5. Transistor Q1 berfungsi sebagai elemen kontrol yang melewatkan sebagian arus beban guna menyetabilkan tegangan keluaran. Tegangan referensi diperoleh dari V_z . Apabila beban (R_L) turun, maka tegangan V_{BE1} turun, sehingga transistor menjadi kurang meng-

hantar. Oleh karena itu arus IC juga turun, dan arus beban menjadi naik. Dengan demikian transistor berusaha untuk menaikkan tegangan output (sehingga menjadi stabil) dengan cara menurunkan jumlah arus yang melewati transistor dan menaikkan arus ke beban. Tegangan keluaran regulator tersebut adalah:

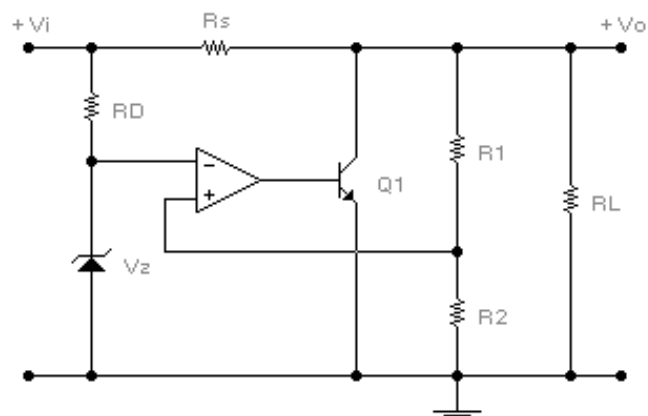
$$V_o = V_z + V_{BE}$$



Gambar 5. Regulator tegangan paralel 1 transistor

Untuk mendapatkan hasil penyetabilan yang lebih baik, dapat digunakan tambahan sebuah Op-Amp seperti ditunjukkan pada gambar 6. Perubahan beban akan dirasakan oleh rangkaian sampling yang berupa pembagi tegangan R1 dan R2. Kemudian sinyal umpan balik ini dibandingkan dengan tegangan referensi oleh Op-Amp untuk selanjutnya digunakan sebagai sinyal pengontrol transistor Q1. Besarnya tegangan keluaran dapat dihitung dengan persamaan berikut.

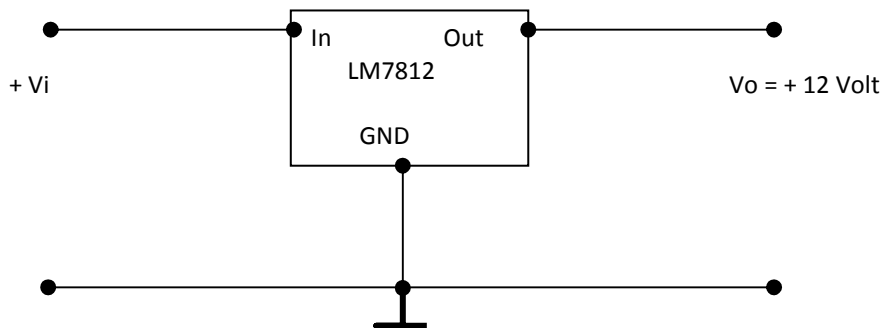
$$V_o = \{1 + (R1/R2)\} \cdot (V_z)$$



Gambar 6. Rangkaian regulator tegangan paralel dengan Op-Amp.

1.4 Regulator Tegangan IC

Regulator tegangan dengan menggunakan komponen utama IC (integrated circuit) mempunyai keuntungan karena lebih kompak (praktis) dan umumnya menghasilkan penyetabilan tegangan yang lebih baik. Fungsi-fungsi seperti pengontrol, sampling, komparator, referensi, dan proteksi yang tadinya dikerjakan oleh komponen diskret, sekarang semuanya dirangkai dan dikemas dalam IC. Ada beberapa jenis IC yang menghasilkan tegangan keluaran tetap baik positif maupun negatif, ada pula yang menghasilkan tegangan keluaran yang bisa diatur. IC regulator tegangan tipe LM78xx (series) menghasilkan tegangan tetap positif, sedangkan tipe LM79xx (series) menghasilkan tegangan tetap negatif.



Gambar 7. IC regulator tipe LM7812

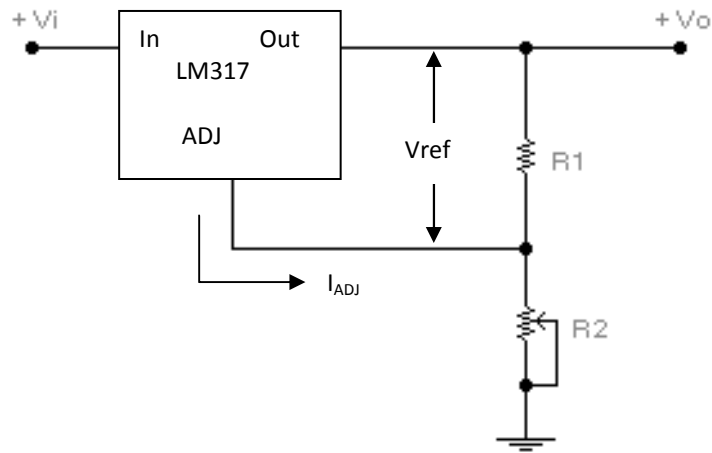
Pada gambar 7 terlihat bahwa IC regulator tipe LM7812 akan menghasilkan tegangan keluaran tetap sebesar positif 12 Volt. IC jenis ini mempunyai 3 buah terminal, yakni masukan (input), keluaran (output), dan ground (GND). Spesifikasi tegangan pada beberapa IC regulator seri LM78xx dan 79xx series terlihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Spesifikasi tegangan IC regulator LM78xx dan LM79xx

LM 78xx/79xx (series)		Tegangan Output (Volt)		Tegangan Input Minimal (Volt)	
LM7805	LM7905	+ 5	- 5	+ 7.3	- 7.3
LM7806	LM7906	+ 6	- 6	+ 8.3	- 8.3
LM7808	LM7908	+ 8	- 8	+ 10.5	- 10.5
LM7810	LM7910	+ 10	- 10	+ 12.5	- 12.5
LM7812	LM7912	+ 12	- 12	+ 14.6	- 14.6
LM7815	LM7915	+ 15	- 15	+ 17.7	- 17.7
LM7818	LM7918	+ 18	- 18	+ 21	- 21
LM7824	LM7924	+ 24	- 24	+ 27.1	- 27.1

(Sumber: Boylestad, 1992)

Apabila dikehendaki suatu tegangan keluaran stabil yang bisa diatur, maka dapat digunakan IC regulator LM317; LM 117; LM 338; LM 138 dll untuk tegangan positif, dan IC regulator LM337; LM137; dll untuk tegangan negatif. Contoh penggunaan IC LM317 dalam rangkaian regulator tegangan dapat dilihat pada gambar 8. Tegangan keluaran IC LM317 bisa diatur dari 1.2 Volt sampai 37 Volt. Spesifikasi jenis IC lainnya dapat dilihat pada tabel 2.



Gambar 8. Regulator tegangan IC LM317

Pada gambar 8 tersebut, tegangan keluaran dapat diatur dengan mengubah harga R2 (perbandingan R1 dan R2).

$$V_o = V_{ref} \{1 + (R_2/R_1)\} + I_{adj} \cdot R_2$$

Dimana harga tipikal untuk IC tersebut, $V_{ref} = 1.25 \text{ V}$ dan $I_{adj} = 100 \mu\text{A}$.

Tabel 2. Spesifikasi tegangan dan arus IC regulator yang bisa diatur

IC	Arus (A)	Tegangan (V)
LM196K; LM396K	10	1.25 - 15
LM138K; LM338K	5	1.2 - 32
LM117; LM317	1.5	1.2 - 37
LM137; LM337	1.5	-1.2 - -37

(Sumber: Linier Databook 3)

Contoh:

Tentukan tegangan keluaran gambar 8, bila diketahui $R_1 = 240 \Omega$ dan $R_2 = 2.4 \text{ K}\Omega$.

Penyelesaian:

$$\begin{aligned} V_o &= V_{ref} \{1 + (R_2/R_1)\} + I_{adj}.R_2 \\ &= 1.25 \text{ V} \{1 + (2400/240)\} + (100 \mu\text{A}) (2400) \\ &= 13.75 \text{ V} + 0.24 \text{ V} = 13.99 \text{ V} \end{aligned}$$

1.5 Ringkasan

Regulator tegangan sangat diperlukan untuk menyetabilkan tegangan hasil dari penyearahan. Regulator tegangan ini terutama dipakai untuk rangkaian atau pesawat elektronika yang peka terhadap perubahan sumber daya. Ketidak-stabilan suatu sumber daya bisa disebabkan oleh adanya perubahan jaringan AC dari PLN atau oleh adanya perubahan beban. Regulator tegangan ini mampu mengatasi kedua jenis perubahan tersebut. Dilihat dari hubungan pengendalian dan bebannya, regulator tegangan bisa berupa seri atau paralel. Sedangkan untuk kepraktisan, biasanya rangkaian regulator tegangan sudah dikemas dalam bentuk rangkaian terintegrasi (IC). Tergantung pula dari kebutuhan akan sumber daya, maka regulator tegangan dapat dibuat tetap atau dibuat bervariasi. Regulator tegangan dengan keluaran bervariasi berarti tegangan yang dihasilkan dapat diatur dengan range tertentu.

1.6 Soal Latihan

1. Jelaskan secara blok diagram cara kerja regulator tegangan seri!
2. Jelaskan secara blok diagram cara kerja regulator tegangan paralel!
3. Perhatikan rangkaian regulator tegangan gambar 2. Bila diketahui: $R_L = 1\text{K}\Omega$; $R = 220\Omega$; $V_z = 12\text{V}$; $\beta = 50$ (silikon), tentukan tegangan output dan arus Zener!
4. Perhatikan rangkaian regulator tegangan gambar 2a. Bila diketahui $R_1 = 10 \text{ K}\Omega$; $R_2 = 5 \text{ K}\Omega$; $V_z = 5,6 \text{ V}$, tentukan tegangan output!
5. Perhatikan rangkaian regulator tegangan paralel pada gambar 5. Bila diketahui $R_s = 120\Omega$; $V_z = 8.2 \text{ V}$; $R_L = 100\Omega$; transistor silikon, tentukan tegangan output dan arus yang mengalir pada transistor (IC)!
6. Suatu regulator tegangan dengan LM 317 seperti gambar 8. Diketahui: $R_1 = 240\Omega$ dan $R_2 = 1,8\text{K}\Omega$. Tentukan tegangan outputnya!