

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN KENDALI P I D**  
*(Proportional Integral Derivative)*

**TUGAS AKHIR**

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana pada Jurusan Teknik Mesin



**Disusun Oleh:**

**Nama** : Raharjo Sulistiyo Utomo  
**No. Mahasiswa** : 00 525 016

**JURUSAN TEKNIK MESIN**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**  
**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**  
**JOGJAKARTA**  
**2007**

# LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

## PERANCANGAN DAN PEMBUATAN KENDALI P I D

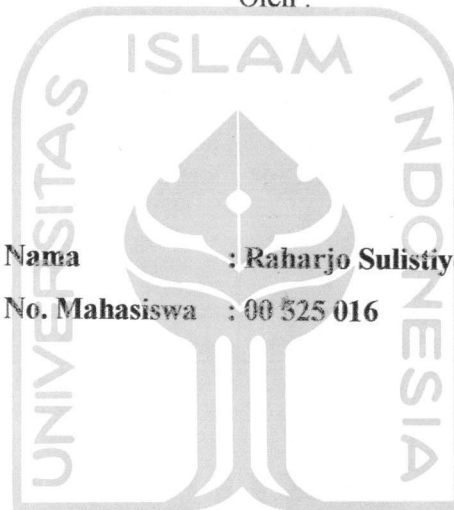
*(Proportional Integral Derivative)*

### TUGAS AKHIR

Oleh :

Nama : Raharjo Sulistiyo Utomo

No. Mahasiswa : 00 525 016



Jogyakarta, Februari 2007

Menyetujui,

Pembimbing

(Ir. Paryana Puspaputra, M.Eng)

# LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

## PERANCANGAN DAN PEMBUATAN KENDALI PID (*Proportional Integral Derivative*)

### TUGAS AKHIR

Oleh :

Nama : Raharjo Sulistiyo Utomo

No. Mahasiswa : 00 525 016

Telah Dipertahankan di Depan Sidang Penguji sebagai Salah Satu Syarat  
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia

Jogjakarta,.....

Tim Penguji

Ir. Paryana Puspaputra, M. Eng.

Ketua

M. Ridlwan, ST., MT.

Anggota I

Agung Nugroho Adi, ST., MT.

Anggota II



Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Islam Indonesia



  
Ridlwan, ST., MT

TERIMAKASIH KUBANJUNGAN :

Allah SWT, atas rizky dan hidayah-Mu satu sisi t'lah terlewati dengan baik dalam Hidupku, izinkan hambamu untuk selalu mengucapkan Syukur atas Nikmat dan Karunia yang telah Engkau berikan.....

Rasulullah Muhammad SAW...Best Leader in the World

**Bapak dan Ibu Tersayang dengan Doa'Mu Anakmu Merangkak dan Melangkah dengan Baik, Bagai Air Yang terus Mengalir....Seperti itulah Doamu, Perkenankan Anakmu Berbuat Sesuatu Yang lebih Baik untuk Bapak dan Ibu...**

*Dwi Juwanto Atmojo, (Alm) Istari Tri Utami dan Rahayu Puji Lestari.*

**Keluarga di Sukoharjo...(Rumah Kedua Yang Nyaman)**

**AD 4127 K dan AD 4402 CB, untuk Kenyamanan Berkendara**

*K. Savitri (it's a long time....) dan R. M Dwianingrum buat doa dan bantuan semangat (Kept in My Mind)*

Nano Harwanto & UTM Partner...(Buat Tumpangan Tidur), Probo dan Harry "gusur" (Computer Tutor), Aan-bug(buat Kamera Digitalnya), Dwi, Ndang, Dicky, Adi-Black, Mega, Sigit(senior at Laboratorium and Futsal Time), Said, Bobby, Allan(Mechanical Clinic Engineer), Lutfi\_Rog&Faisal\_Lex(Kapan ada proyek lagi...?) Cahyono(Partner in Op-amp & PID Confused)..All Asisten Partner, Sahabat dan Kawan di Jurusan Teknik Mesin & Kampus UII.

*KarangWuni B-24B (Nang, Mas Yok, Yuz, Ab, Must..the veteran).*

Laboratorium, internet & all the Best Reference For Me.....



## MOTTO

Hanya Kepada-Mu (ALLAH) Kami Menyembah Dan Hanya  
Kepada-Mu (ALLAH) Kami Mohon Pertolongan  
(Q.S Al-Faatihah, 5)

**Maka Hindarkanlah Dirimu Dari Neraka Yang Bahan Bakarnya  
Manusia Dan Batu, Yang Memang Disediakan Bagi Mereka Yang  
Kafir  
( Q.S Al-Baqarah, 24 )**

*..To Be your self, It's All That you Can Do..  
(AudioSlave)*

## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

*Assalamu'alaikum Wr, Wb.*

Puji dan syukur terlimpah bagi Allah SWT, atas berkat rahmat dan ridho-Nya maka penulisan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan. Shalawat dan salam tercurah kepada Rasulullah Muhammad SAW sebagai pembawa rahmat di muka bumi.

Tugas Akhir dengan judul **“Perancangan dan Pembuatan Kendali PID (*Proportional Integral Derivative*)”** dibuat sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar Sarjana (S1) di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.

Dengan segenap ketulusan hati, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak dan Ibu tercinta, atas segenap kasih sayang yang tiada henti.
2. Bapak Fathul Wahid, ST., M.Sc, selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak M. Ridlwan, ST., MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin.
4. Bapak Ir. Paryana Puspaputra, M.Eng., selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah meluangkan waktu untuk memberikan petunjuk dan arahan dalam tugas akhir ini.

5. Bapak M. Arif Nurhadiyanto, ST., M.Sc., atas judul tugas akhir, beberapa buku referensi dan waktu untuk membimbing dalam pemahaman tugas akhir ini.
6. Dosen pengajar di Jurusan Teknik Mesin FTI UII.
7. Laboratorium beserta kawan-kawan asisten di Jurusan Teknik Mesin FTI UII.
8. Sahabat dan kawan yang turut membantu.

Akhir kata penulis berharap kiranya Laporan Tugas Akhir ini akan bermanfaat bagi pembaca.

*Wassalamu'alaikum Wr. Wb*

Jogjakarta, Maret 2007

Penulis

## DAFTAR ISI

Halaman Judul .....	i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing .....	ii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji .....	iii
Halaman Persembahan .....	iv
Halaman Motto .....	v
Kata Pengantar .....	vi
Daftar Isi .....	viii
Daftar Gambar .....	xi
Daftar Tabel .....	xiii
Abstrak .....	xiv

### BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	3

### BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Kendali .....	4
2.1.1 Sistem Kendali Terbuka .....	4
2.1.2 Sistem Kendali Tertutup .....	5
2.2 Sistem Kendali PID ( <i>Proportional Integral Derivative</i> ) .....	5
2.2.1 Kendali <i>Proportional</i> .....	6
2.2.2 Kendali <i>Integral</i> .....	7

2.2.3 Kendali <i>Derivative</i> .....	8
2.3 Penguat Operasional ( <i>Op-Amp</i> ) .....	9
2.3.1 Op-Amp LM-741 .....	10
2.3.2 Rangkaian Kendali <i>Proportional</i> .....	11
2.3.3 Rangkaian Kendali <i>Integral</i> .....	12
2.3.4 Rangkaian Kendali <i>Derivative</i> .....	13
2.3.5 Rangkaian <i>Summing Amplifier</i> .....	14
2.4 <i>Function Generator</i> .....	14
2.5 <i>Oscilloscope</i> .....	15

### BAB III PERANCANGAN KENDALI PID

3.1 Metodologi Penelitian .....	17
3.2 Perancangan Kendali dengan Menggunakan <i>Electronic Workbench</i> Sebagai Alat Simulasi Perancangan .....	18
3.2.1 Perancangan Kendali <i>Proportional</i> .....	18
3.2.2 Perancangan Kendali <i>Proportional + Integral</i> .....	21
3.2.3 Perancangan Kendali <i>Proportional + Derivative</i> .....	23
3.3 Perancangan <i>Hardware</i> Kendali P, P+I dan P+D .....	25
3.3.1 Perancangan Rangkaian Kendali <i>Proportional</i> .....	27
3.3.2 Perancangan Rangkaian Kendali <i>Proportional + Integral</i> ...	27
3.3.3 Perancangan Rangkaian Kendali <i>Proportional + Derivative</i> ...	29

### BAB IV HASIL PERANCANGAN KENDALI P, P+I dan P+D

4.1 Perancangan Kendali <i>Proportional</i> .....	31
4.1.1 Bentuk Perancangan .....	31
4.1.2 Tegangan Keluaran Kendali <i>Proportional</i> .....	32
4.2 Perancangan Kendali P+I ( <i>Proportional Integral</i> ) .....	34
4.2.1 Bentuk Perancangan .....	34
4.2.2 Tegangan Keluaran Kendali P+I .....	35

4.3 Perancangan Kendali P+D ( <i>Proportional Derivative</i> ) .....	37
4.3.1 Bentuk Perancangan .....	37
4.3.2 Tegangan Keluaran Kendali P+D .....	38
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan .....	41
5.2 Saran .....	41
DAFTAR PUSTAKA .....	xv
LAMPIRAN .....	xvi

## DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2.1. Diagram blok *open loop controll system*
- Gambar 2.2. Diagram blok *close loop controll system*
- Gambar 2.3. Diagram kendali PID
- Gambar 2.4. Respon kendali *proportional*
- Gambar 2.5. Respon kendali *integral*
- Gambar 2.6. Respon kendali *derivative*
- Gambar 2.7. Respon kendali *proportional+integral+derivative*
- Gambar 2.8. Simbol *op-amp*
- Gambar 2.9. Bentuk fisik *op-amp* LM-741
- Gambar 2.10. Rangkaian kendali *proportional*
- Gambar 2.11. Rangkaian kendali *integral*
- Gambar 2.12. Rangkaian kendali *derivative*
- Gambar 2.13. Rangkaian *summing amplifier*
- Gambar 2.14. *Function Generator*
- Gambar 2.15. *Digital Oscilloscope*
- Gambar 2.16. Tampilan divisi pada layar *oscilloscope*
- Gambar 3.1. Skema perancangan kendali PID
- Gambar 3.2. Blok diagram rangkaian kendali PID
- Gambar 3.3. Bentuk Rangkaian kendali *proportional*
- Gambar 3.4. Perancangan kendali *proportional* dengan menggunakan *electronic workbench*
- Gambar 3.5. Bentuk rangkaian kendali *proportional + integral*
- Gambar 3.6. Perancangan kendali P+I menggunakan *electronic workbench*
- Gambar3.7. Bentuk rangkaian kendali *proportional + derivative*
- Gambar3.8. Perancangan kendali P+D menggunakan *electronic workbench*
- Gambar 3.9. *Power supply*
- Gambar 2.10. *Function Generator* yang digunakan

- Gambar 2.11. *Oscilloscope* yang digunakan
- Gambar 2.12. Rangkaian elektronik kendali *proportional*
- Gambar 3.13. Rangkaian elektronik kendali *integral*
- Gambar 3.14. Rangkaian elektrik rangkaian penjumlah (*summing amplifier*)
- Gambar 3.15. Rangkaian elektronik kendali *derivative*
- Gambar 4.1. Kendali *proportional* rangkaian elektronik
- Gambar 4.2. Perancangan kendali *proportional* dengan EWB
- Gambar 4.3. Bentuk sinyal kendali *proportional* pada EWB
- Gambar 4.4. Bentuk sinyal kendali *proportional* secara rangkaian elektronik
- Gambar 4.5. Perancangan kendali P+I dengan EWB
- Gambar 4.6 Kendali *integrator* rangkaian elektronik
- Gambar 4.7. Bentuk sinyal pengendali P+I pada EWB
- Gambar 4.8. Bentuk sinyal rangkaian elektronik kendali P+I
- Gambar 4.9. Perancangan kendali P+D dengan EWB
- Gambar 4.10. Kendali *derivative* rangkaian elektronik
- Gambar 4.11. Bentuk sinyal kendali P+D dengan EWB
- Gambar 4.12. Bentuk sinyal rangkaian elektronik kendali P+D



## DAFTAR TABEL

- Tabel 2.1. Tanggapan kendali PID
- Tabel 3.1. Karakteristik *power supply* yang digunakan
- Tabel 3.2. Spesifikasi rangkaian kendali *proportional*
- Tabel 3.3. Spesifikasi rangkaian kendali *integrator*
- Tabel 3.4. Spesifikasi rangkaian *summing amplifier*
- Tabel 3.5. Spesifikasi rangkaian kendali *derivative*
- Tabel 4.1. Spesifikasi pengaturan pada *function generator*
- Tabel 4.2. Nilai komponen kendali P+I
- Tabel 4.3. Pengaturan komponen rangkaian kendali P+I (*hardware*)
- Tabel 4.4. Nilai komponen rangkaian kendali P+D
- Tabel 4.5. Pengaturan komponen rangkaian kendali P+D (*hardware*)

## **ABSTRAK**

*Sistem kendali merupakan hal yang tidak bisa diabaikan dalam dunia industri. Keberadaan sistem kendali sangat membantu dalam hal otomatisasi sistem sehingga kendali dapat mempermudah sistem pengoperasian dan mampu menekan biaya (cost) produksi.*

*Sistem kendali atau control system adalah kumpulan dari beberapa komponen alat yang bertujuan untuk mendapatkan hasil keluaran (output) dengan memanipulasi nilai atau variabel dari suatu sistem.*

*Kendali PID (Proportional Integral Derivative) merupakan salah satu kendali analog. Penggabungan dari ketiga kendali PID yaitu proportional, integral dan derivative akan menghasilkan respon yang baik. Yang mana bertujuan untuk mendapatkan waktu tanggap yang cepat, lonjakan (overshoot) minimal serta meniadakan steady state error.*

*Perancangan kendali akan lebih difokuskan pada perancangan kendali Proportional (P), Proportional+Integral (P+I), Proportional+Derivative (P+D). Perancangan dilakukan dengan 2 cara yaitu menggunakan electronic workbench dan perancangan secara langsung (hardware).*

*Dalam penulisan tugas akhir ini dirancang dan diuji suatu sistem kendali PID yang nantinya akan diamati mengenai penguatan tegangan yang dihasilkan serta pengamatan terhadap bentuk sinyal yang dihasilkan.*

*Nilai penguatan tegangan yang dihasilkan oleh kendali proportional pada alat bantu simulasi Electronic Workbench (EWB) sebesar -9,98 Volt dan pada rangkaian elektronik sebesar -9,37 Volt. Kemudian nilai penguatan tegangan untuk kendali P+I pada EWB sebesar 12,28 Volt dan untuk rangkaian elektronik sebesar 2,13 Volt. Untuk nilai penguatan tegangan kendali P+D pada EWB didapatkan nilai tegangan sebesar 10,005 Volt dan untuk secara rangkaian elektronik nilai tegangan sebesar 4,02 Volt.*

**Kata Kunci** : *Sistem Kendali, Kendali PID (Proportional Integral Derivative), penguatan tegangan, bentuk sinyal.*

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Sistem kendali sangat umum ditemukan di setiap sektor industri, seperti pengendalian kualitas dari produk yang dihasilkan, pengendalian mesin, maupun robotik. Hal ini tidak dapat diabaikan dalam dunia industri. Keberadaan pengendali dalam dunia industri sangat membantu dalam hal otomatisasi sistem sehingga sistem kendali dapat memudahkan sistem pengoperasian dan mampu menekan biaya (*cost*) produksi, sehingga kerja yang dilakukan menjadi lebih praktis dan efisien dengan tingkat kualitas perencanaan yang tinggi.

Sistem kendali (*control system*) adalah kumpulan dari beberapa komponen alat yang bertujuan untuk mendapatkan hasil keluaran (*output*) dengan memanipulasi nilai dari variabel lain di dalam sistem. Sistem pengendali pada awalnya merupakan rangkaian dari komponen analog yang pada proses desainnya harus diketahui persamaan matematisnya, seperti pada sistem pengendali PID (*Proportional Integral Derivative*).

Dalam penelitian tugas akhir ini akan dirancang dan diuji suatu sistem kendali PID yang nantinya akan diamati mengenai karakteristiknya yang berupa penguatan tegangan keluaran serta bentuk sinyal dari masing-masing kendali. Perancangan PID dibantu dengan menggunakan simulator *Electronic Workbench* (EWB) untuk membantu sebagai simulasi perancangan secara elektronik, sehingga dapat diketahui perbandingan antara perancangan dengan menggunakan EWB dengan perancangan secara rangkaian elektronik.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dalam penulisan tugas akhir ini diambil rumusan masalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana merancang suatu sistem kendali P (Proportional), P+I (Proportional+Integral) dan P+D (Proportional+Derivative) yang merupakan bagian dalam sistem kendali PID dan dibantu dengan penggunaan *electronic workbench* (EWB) sebagai alat bantu simulasi.
- b. Bagaimana merancang kendali P, P+I dan P+D dalam bentuk rangkaian elektronik (*hardware*).
- c. Bagaimana karakteristik dari hasil perancangan kendali P, P+I dan P+D, tentang nilai penguatan tegangan keluaran serta bentuk sinyal yang dihasilkan.

## 1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian tugas akhir ini, batasan masalah digunakan agar dapat lebih mengarahkan penelitian dan tidak menyimpang jauh dari apa yang akan dibahas dalam penelitian ini. Batasan-batasan masalah disini antara lain:

- a. Penelitian ini difokuskan pada perancangan sistem kendali P, P+I dan P+D sebagai bagian dari kendali PID yang dikerjakan menggunakan *electronic workbench* sebagai alat bantu simulasi penguatan untuk perbandingan dengan perancangan *hardware*.
- b. Perancangan untuk *hardware* dilakukan dengan membuat kendali P, P+I dan P+D secara rangkaian elektronik dengan komponen utama menggunakan *Operational Amplifier (Op-Amp)* jenis LM-741.
- c. Analisis terhadap penguatan tegangan serta bentuk sinyal yang dihasilkan oleh kendali P, P+I dan P+D.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Dengan perancangan dan pembuatan kendali P, P+I dan P+D bertujuan untuk mengetahui karakteristik yang dimiliki oleh setiap kendali berupa penguatan nilai tegangan keluaran serta bentuk sinyal yang dihasilkan.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari perancangan kendali P, P+I dan P+D menggunakan *electronic workbench*, nantinya akan disimulasikan bentuk kendali yang diinginkan serta diaplikasikan dengan pembuatan kendali secara rangkaian elektronik (*hardware*).

#### **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan tugas akhir ini terdiri dari beberapa bab, yaitu:

Bab I berisi mengenai latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dari tugas akhir ini. Bab II memuat tentang dasar teori yang berhubungan dengan penelitian tugas akhir ini. Selanjutnya, Bab III menerangkan tentang proses perancangan dan pembuatan kendali P, P+I dan P+D secara *hardware* dan alat bantu yang digunakan serta perancangan kendali menggunakan bantuan software *electronic workbench*. Kemudian Bab IV berisi mengenai hasil perancangan dan pembuatan kendali yang dilakukan. Akhirnya seluruh pembahasan ditutup pada Bab V yang memuat kesimpulan dan saran dari proses perancangan dan pembuatan kendali yang telah dilakukan.

## BAB II

### LANDASAN TEORI

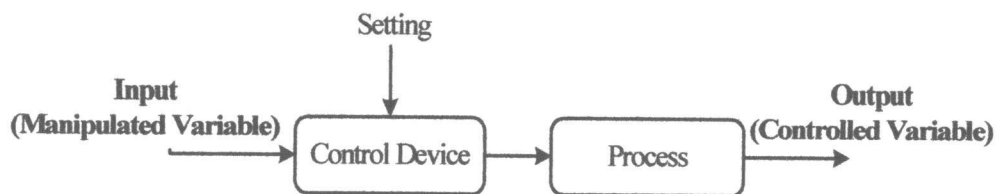
#### 2.1 Sistem Kendali

Pengertian dari sistem adalah obyek atau kumpulan dari *object* yang akan dipelajari atau diteliti dan pengertian kendali adalah kondisi yang menggambarkan proses pemaksaan terhadap suatu sistem untuk mendapatkan hasil (*output*) yang diinginkan (Wahyudi,2004). Sedangkan pengertian dari sistem kendali (*control system*) adalah kumpulan dari komponen atau alat yang bertujuan untuk mendapatkan hasil keluaran (*output*) dengan memanipulasi nilai atau variabel dari suatu sistem (Wahyudi,2004).

##### 2.1.1 Sistem kendali terbuka (*Open loop control system*)

Sistem kendali yang nilai keluaran (*output*) tidak mempengaruhi kinerja kendali. Pada sistem ini tidak dapat dilakukan perbandingan antara sinyal keluaran (*output*) dengan sinyal masukan (*input*), karena pada sistem ini tidak terdapat umpan balik (*feedback*).

Kinerja dari sistem kendali terbuka ini tergantung dari kalibrasi sistem, jika terdapat gangguan pada sistem maka sistem harus dikalibrasi ulang (Simpson,1996).

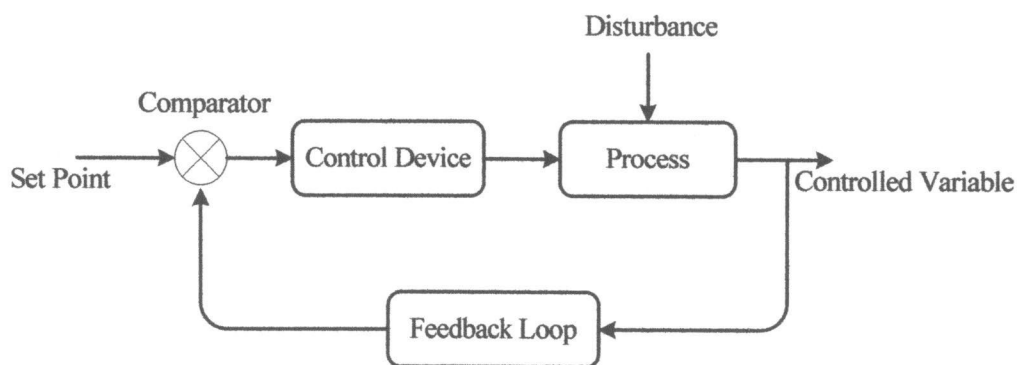


Gambar 2.1. Diagram blok *open loop control system* (Simpson,1996)

### 2.1.2 Sistem kendali tertutup (*Close loop control system*)

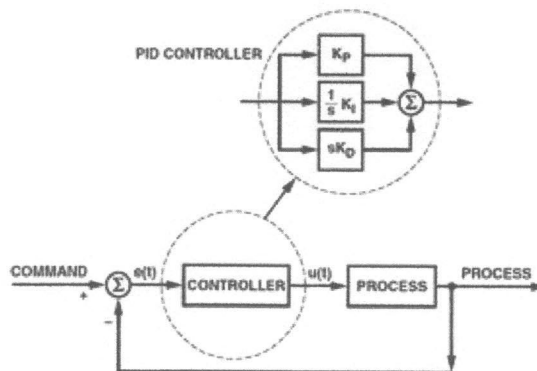
Sistem ini sering juga disebut dengan sistem kendali umpan balik (*feedback control system*), dalam sistem ini menggunakan hubungan antara *output* dengan *input* yang diinginkan dengan cara membandingkannya.

Pengendali akan mengurangi *error* dan membawa sistem pada keadaan yang diinginkan (*output* sesuai dengan yang diinginkan). Jadi pada sistem ini *output* akan mempengaruhi aksi kendali.



Gambar 2.2. Diagram blok *close loop control system* (Simpson,1996)

### 2.2 Sistem Kendali PID (*Proportional Integral Derivative*)



Gambar 2.3. Diagram Blok Kendali PID ([analog.com/analogdialogue](http://analog.com/analogdialogue))

Proportional-Integral-Derivative (PID) merupakan salah satu kendali analog. Kendali PID merupakan sistem terbuka dan mengkombinasikan tiga bagian kendali

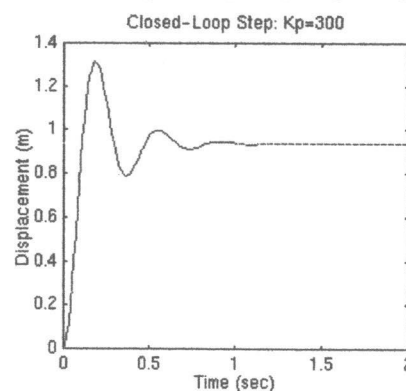
baik proportional, proportional+integral, propotional+derivative dan proportional+integral+derivative.

Tujuan dari pengaplikasian kendali PID ini akan diinginkan bagaimana merancang sistem kendali yang mempunyai nilai tanggapan respon yang cepat, meminimalkan lonjakan (*overshoot*) dan tidak ada kondisi kesalahan (*no steady state error*) (Nurhadiyanto,2004).

### 2.2.1 Kendali Proportional

Kendali proportional dapat dipahami bahwa aksi kendali sesuai dengan besarnya kesalahan (*error*) dengan faktor pengali tertentu. Kendali proportional tergantung pada perbedaan antara *set point* dan *variabel process*, perbedaan antara keduanya biasa dikenal dengan kondisi *error signal* (zone.ni.com,2006).

Kendali proportional menurunkan *rise time* (waktu yang dibutuhkan suatu sistem untuk mencapai kondisi yang diinginkan), menambah *overshoot* (bentuk sinyal output yang belum stabil dari suatu sistem) serta mengurangi *steady-state error* (selisih jarak antara sinyal output dengan respon yang diinginkan) (Ferdinando,2005).



**Gambar 2.4.** Respon kendali proportional (engin.umich.edu).

Secara umum apabila faktor penguatan (*gain*) dari kendali proportional ditambah maka akan meningkatkan kecepatan tanggapan atau respon sistem kendali.

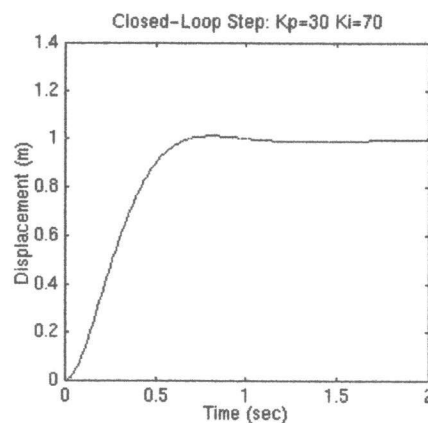


### 2.2.2 Kendali Integral

Kendali integral menjumlahkan kondisi *error* pada waktu yang dibutuhkan sinyal untuk mencapai kondisi yang diinginkan. Respon dari kendali integral akan terus bertambah per satuan waktu, jadi efek yang terjadi pada pengendalian *steady-state error* mendekati nol.

*Steady-state error* disini dapat dipahami sebagai perbedaan antara *process variable* dengan *set point* (zone.ni.com,2006). Kendali integral memiliki karakteristik mengurangi *rise time*, menambah *overshoot* dan *settling time* serta mengurangi *steady state error* (Ferdinando,2005). Dalam aplikasinya kendali integral tidak dapat bekerja sendiri namun harus dipasangkan dengan kendali proportional untuk mendapatkan kinerja yang lebih baik.

Penggabungan kedua kendali ini, proportional dan integral akan membentuk kinerja bahwa fungsi kendali proportional sedikit teredam, karena kendali integral juga mengurangi *rise time* dan menambah *overshoot* seperti yang terjadi pada kendali proportional namun kendali integral disini dapat mengurangi atau mengeliminasi *steady-state error* yang terjadi.



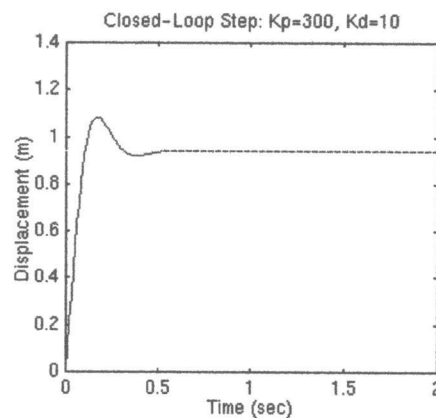
**Gambar 2.5.** Respon kendali proportional+integral  
(engin.umich.edu)

### 2.2.3 Kendali Derivative

Kendali derivative disini berfungsi sebagai memperpendek waktu yang diperlukan sinyal untuk mendekati kondisi yang diinginkan. Pada derivative, keluaran dapat meningkat apabila nilai pada *process variable* bertambah dengan cepat.

Karakteristik dari kendali derivative adalah dapat mengurangi *overshoot* dan *settling time* tetapi tidak memberikan dampak apa-apa terhadap *steady state error* (Ferdinando,2006).

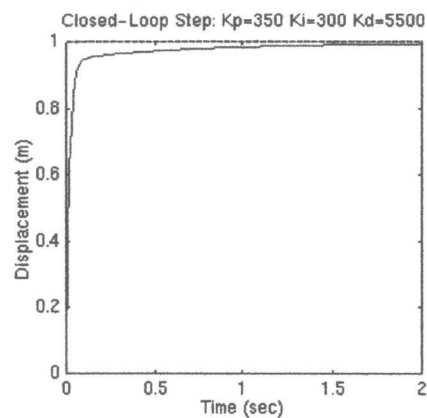
Sama dengan rangkaian integral, rangkaian derivative juga tidak dapat bekerja sendiri namun perlu penggabungan dengan rangkaian proportional agar menghasilkan kinerja yang lebih baik yaitu sistem kendali ini bereaksi lebih kuat dalam meredam *error* yang ada serta menambah kecepatan tanggapan sistem kendali terhadap *response* yang terjadi.



**Gambar 2.6.** Respon kendali propotional+derivative  
(engin.umich.edu)

### 2.2.4 Kendali PID

Pengabungan dari ketiga kendali ini akan menghasilkan kinerja yang lebih baik karena dalam sistem kendali PID ini didapatkan pengurangan atau pengeliminasian *overshoot*, didapatkan *rise time* yang sangat cepat dan tidak adanya *steady state error* yang terjadi atau nilainya sama dengan nol (Ferdinando,2006).



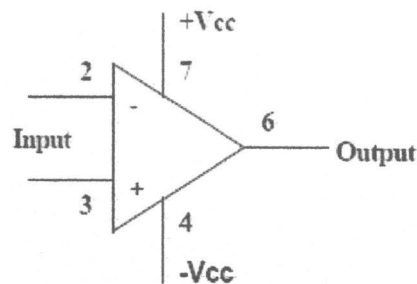
**Gambar 2.7.** Respon kendali proporsional +integral+derivative  
(engin.umich.edu)

**Tabel 2.1** Tanggapan Kendali PID

Gain Constant	Rise Time	Overshoot	Settling Time	Steady State Error
$K_p$	Berkurang	Bertambah	Ada Perubahan	Berkurang
$K_i$	Berkurang	Bertambah	Bertambah	Menghilangkan
$K_d$	Ada Perubahan	Berkurang	Berkurang	Ada Perubahan

### 2.3 Penguat Operasional (*Op-Amp*)

Op-amp adalah rangkaian penguatan yang terintegrasikan dalam bentuk *integrated circuit* (IC). Rangkaian ini merupakan rangkaian serbaguna banyak digunakan pada peralatan elektronik

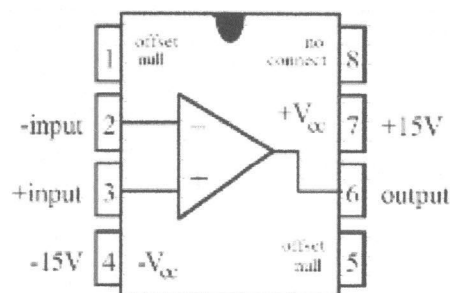


Gambar 2.8. Simbol op-amp

Pada gambar terlihat bahwa dalam simbol op-amp, input tegangan op-amp berada pada kaki no.2 (*inverting*) dan kaki.3 (*non-inverting*), input *power supply* berada pada kaki no.7 (+) dan kaki no.4 (-) sedangkan output berada pada kaki no.6.

#### 2.3.1 Op-amp LM-741

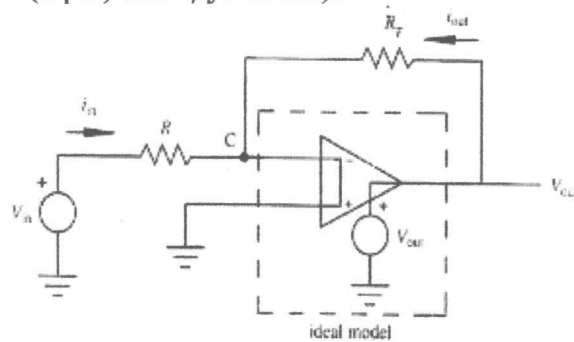
Op-amp LM-741 merupakan salah satu tipe op-amp yang sering digunakan dalam peralatan kendali yang menggunakan op-amp, sebagai komponen utama penguatannya. Simbol op-amp LM-741 ini sama dengan simbol pada op-amp umumnya, begitupun dengan bentuk fisiknya.



Gambar 2.9. Bentuk fisik op-amp LM-741

### 2.3.2 Rangkaian Kendali Proportional

Rangkaian dasar kendali proportional disini digunakan rangkaian op-amp pembalik (*inverting*), karena input masukan pada kendali ini masuk ke input *inverting* pada op-amp. Komponen utama yang digunakan adalah op-amp LM-741 kemudian ditambahkan dengan komponen *resistor*. Dimana ada dua resistor yang ada pada rangkaian ini yaitu  $R$  (input) dan  $R_f$ (*feedback*).



**Gambar 2.10.** Rangkaian kendali proportional

(Alciatore and Michael;2003)

Penguatan yang dihasilkan oleh rangkaian ini bergantung pada nilai resistor ( $R$  dan  $R_f$ ). Disebut dengan rangkaian *inverting* karena sinyal output yang dihasilkan berbeda fase  $180^\circ$  dengan sinyal input pada masukan (Alciatore and Michael;2003).

Pada rangkaian ini arus ( $i$ ) input yang mengalir pada op-amp dapat diabaikan, sehingga digunakan persamaan Kirchoff's.

$$I_{in} + I_{out} = 0$$

$$I_{in} = -I_{out} \quad (2.1)$$

Kemudian diasumsikan bahwa op-amp adalah ideal (perbedaan tegangan antara dua input adalah 0), sehingga  $V=0$ . Kemudian sesuai dengan hukum Ohm maka persamaan (2.1) dapat dijabarkan lagi.

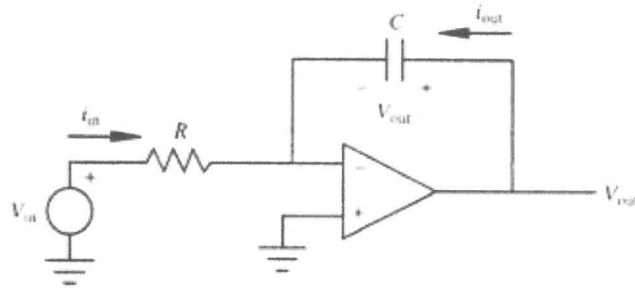
$$\frac{V_{in}}{R} = -\frac{V_{out}}{R_f} \quad (2.2)$$

Sehingga penguatan tegangan output dari rangkaian ini adalah;

$$V_{out} = -\frac{R_f}{R} V_{in} \quad (2.3)$$

### 2.3.3 Rangkaian Kendali Integral

Apabila komponen *feedback* ( $R_f$ ) pada rangkaian *inverting* diganti dengan kapasitor ( $C$ ), maka rangkaian ini disebut dengan rangkaian integral (*integrator*) (Alciatore and Michael;2003).



**Gambar 2.11.** Rangkaian kendali *integral*

(Alciatore and Michael;2003)

Pada rangkaian ini arus ( $i$ ) yang mengalir akan melalui  $R$  dan  $C$ , sehingga didapatkan persamaan:

$$I_{in} = -I_{out} \quad (2.4)$$

$$\frac{V_{in}}{R} = -C \frac{dV_{out}}{dt} \quad (2.5)$$

$$\frac{dV_{out}}{dt} = -\frac{V_{in}}{RC}$$

Dengan mengintegrasikan persamaan (2.5), maka didapatkan penguatan tegangan untuk integral sebagai berikut:

$$V_{out} = -\frac{1}{RC} \int_0^t V_{in} \cdot dt \quad (2.6)$$

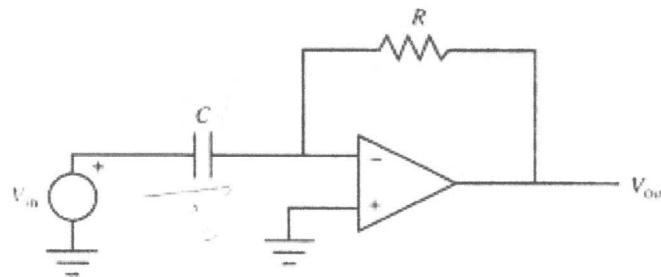
Saat  $V_{in} = 0$ , rangkaian integrator bekerja sebagai rangkaian *open-loop amplifier*. Ini karena kapasitor beraksi sebagai sirkuit terbuka terhadap *offset* tegangan input. Dengan kata lain, *offset* tegangan input dan arus input ( $I_{in}$ ) membuat kapasitor ( $C$ ) terisi (*charging*) dan menghasilkan error pada tegangan output kendali integrator.

Karenanya, dalam prakteknya untuk mengurangi nilai error tegangan output yang terjadi ditambahkan resistor ( $R_f$ ) yang diparalelkan dengan kapasitor ( $C$ ). Fungsi

resistor disini untuk membatasi frekuensi rendah dan akan meminimalkan nilai error pada tegangan output (Gayakwad, 1993).

### 2.3.4 Rangkaian Kendali Derivative

Jika pada rangkaian *integrator* komponen kapasitor terhubung antara output dengan masukan op-amp, maka pada rangkaian derivative komponen kapasitor terletak pada masukan (*inverting*) op-amp. Sedangkan resistor dihubungkan antara output dengan masukan (*inverting*) op-amp.



**Gambar 2.12.** Rangkaian kendali derivative

(Aciatore and Michael;2003)

Pada rangkaian ini arus ( $i$ ) yang masuk melalui kapasitor nilainya akan sama dengan arus yang melalui resistor, sehingga didapatkan persamaan:

$$I_{in} = -I_{out} \quad (2.7)$$

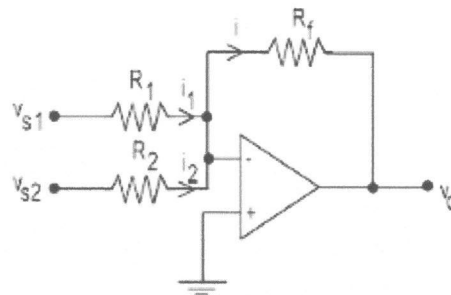
$$C \frac{dV_{in}}{dt} = -\frac{V_{out}}{R_f} \quad (2.8)$$

Maka penguatan tegangan untuk kendali derivative adalah:

$$V_{out} = -C \cdot R_f \frac{dV_{in}}{dt} \quad (2.9)$$

### 2.3.5 Rangkaian *Summing Amplifier*

*Summing Amplifier* merupakan bagian dari sistem kendali PID yang mana fungsi dari *summing amplifier* disini adalah sebagai penjumlah nilai keluaran dari ketiga rangkaian kendali proporsional, integral dan derivative, yang mana nilai keluaran dari rangkaian tersebut menjadi nilai masukan pada *summing amplifier*.



Gambar 2.13. Rangkaian *summing amplifier*

Persamaan yang digunakan untuk mencari penguatan tegangan yang dihasilkan oleh rangkaian *summing amplifier* adalah sebagai berikut:

$$V_{out} = - \left[ \frac{R_f}{R_1} V_{s1} + \frac{R_f}{R_2} V_{s2} \right] \quad (2.10)$$

### 2.4 *Function Generator*

*Function generator* adalah alat yang menghasilkan beberapa bentuk gelombang sinyal. Bentuk gelombang sinyal yang umum dihasilkan oleh *function generator* dapat berupa gelombang sinyal sinus (*sine*), persegi (*square*) dan segitiga (*triangle*), atau bisa juga termasuk gelombang sinyal *pulse* dan *ramp* (*sawtooth*).

Gelombang sinus dan persegi umumnya digunakan untuk pengujian pada sirkuit *amplifiers* dan gelombang sinyal segitiga umumnya digunakan untuk pengujian sirkuit seperti *comparator* (Buchla and Wayne, 1992).





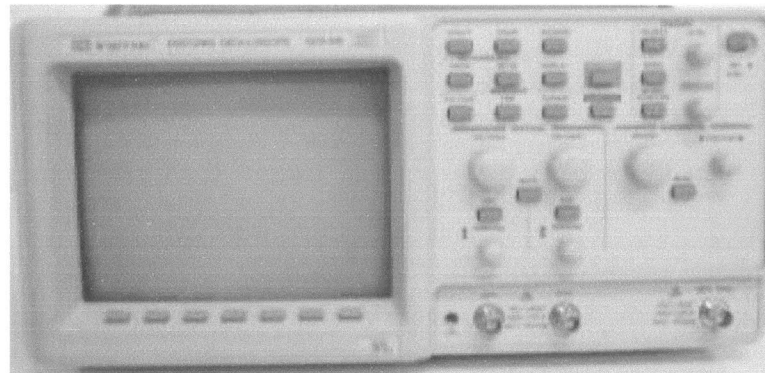
**Gambar 2.14.** *Function Generator*

Sistem kerja dari *function generator* adalah memberikan masukan sinyal gelombang (*sine*, *square* atau *triangle*) kepada suatu rangkaian sirkuit untuk mengetahui tanggapan atau respon dari rangkaian sirkuit tersebut. Respon yang dihasilkan kemudian diamati menggunakan peralatan *oscilloscope*.

Dengan masukan berupa sinyal gelombang (*sine*, *square* atau *triangle*) maka akan dapat diketahui respon apakah sirkuit beroperasi secara normal, serta dapat juga dilakukan pengecekan amplitudo dan ketajaman dari sinyal gelombang pada variabel titik point atau mengetahui kemungkinan adanya gangguan (*trouble*) (Buchla and Wayne, 1992).

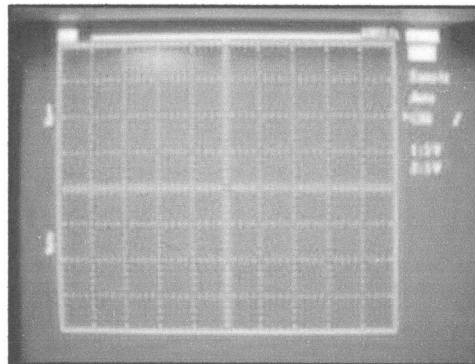
## 2.5 *Oscilloscope*

*Oscilloscope* merupakan perangkat (*instrument*) elektronik yang menampilkan bentuk gelombang sinyal, atau sering disebut sebagai mesin grafik (*graphic machine*) (Floyd, 1998). Grafik yang ditampilkan adalah perbandingan grafik tegangan dengan grafik waktu. *Oscilloscope* dapat menampilkan beberapa bentuk gelombang sinyal yaitu sinus (*sine*), segitiga (*triangle*) dan persegi (*square*).



**Gambar 2.15.** *Digital Oscilloscope*

Pada layar *oscilloscope* biasanya terdiri dari 10 divisi horisontal dan 8 divisi vertikal. Setiap divisi terdapat divisi minor berskala yang jumlahnya 5 divisi kecil baik itu pada divisi yang horisontal maupun pada divisi yang vertikal.



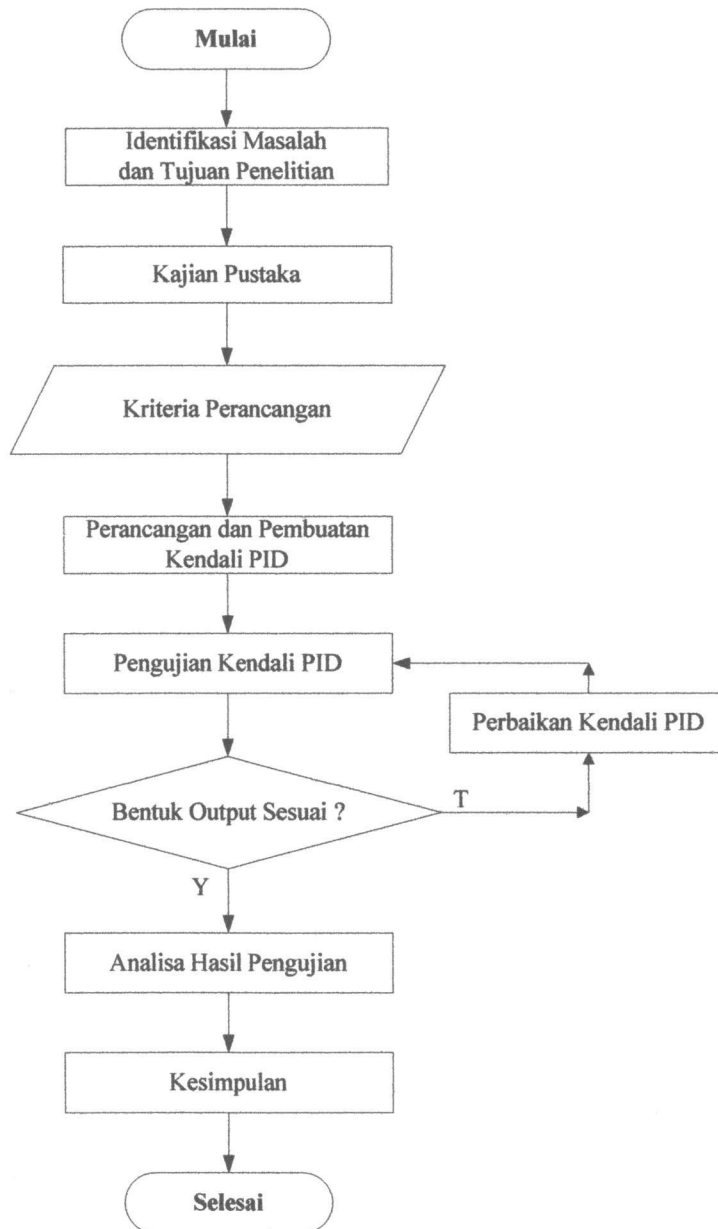
**Gambar 2.16.** Tampilan divisi pada layar *oscilloscope*

Untuk divisi vertikal biasanya terdapat dua pengatur divisi yaitu channel 1 (VOLTS/DIV) dan channel 2 (VOLTS/DIV). Divisi vertikal digunakan untuk membaca nilai atau jumlah tegangan yang dihasilkan dari bentuk gelombang sinyal yang ditampilkan, umumnya pengaturan tegangan tidak hanya pada satuan *volt* (V) namun sampai *milivolt* (mV).

Sedangkan untuk divisi horisontal hanya terdapat satu pengatur divisi yaitu (SEC/DIV), divisi horisontal digunakan untuk membaca nilai atau jumlah waktu yang dihasilkan dari bentuk gelombang sinyal yang dihasilkan, pengaturan waktu juga tidak hanya pada satuan *second* (s) namun sampai *milisecond* (ms) dan *microsecond* ( $\mu$ s).

**BAB III**  
**PERANCANGAN KENDALI PID**

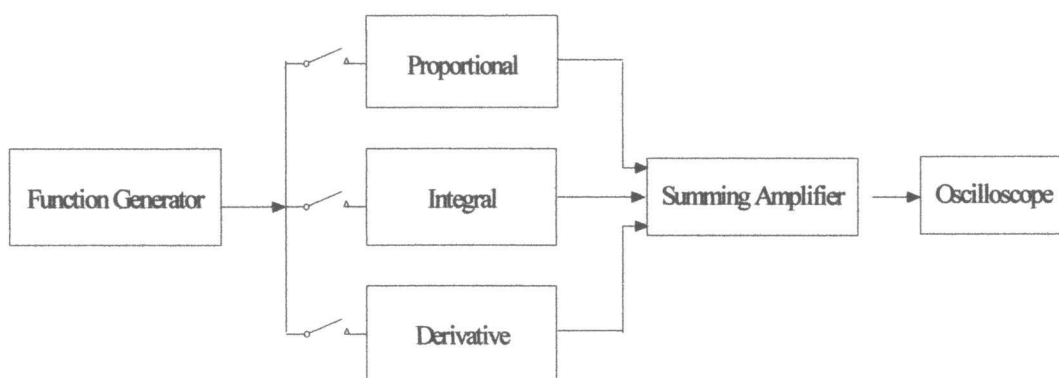
**3.1 Metodologi Perancangan Kendali PID**



**Gambar 3.1.** Skema perancangan kendali PID

### 3.2 Perancangan Kendali P, P+I dan P+D dengan Menggunakan *Electronic Workbench* Sebagai Alat Bantu Simulasi Perancangan

Perancangan menggunakan *electronic workbench* dalam penelitian tugas akhir disini akan lebih dikhususkan sebagai pembanding bentuk sinyal penguatan yang ditampilkan oleh sebuah kendali maupun gabungan dari beberapa kendali.



**Gambar 3.2.** Blok diagram rangkaian kendali PID

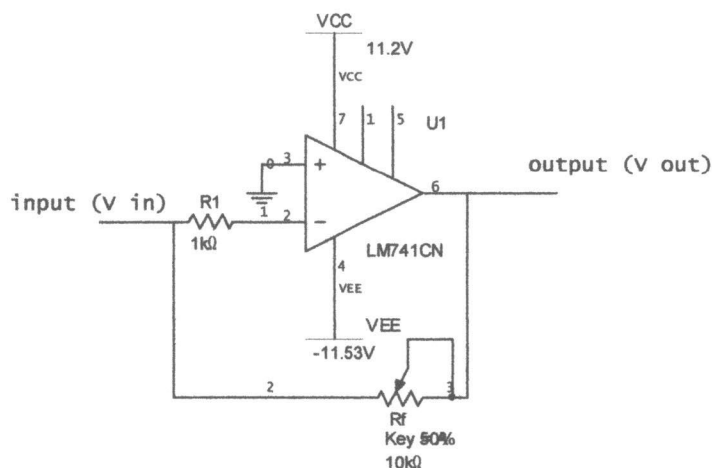
Berdasarkan blok diagram pada gambar 3.2, maka dapat menentukan penggunaan kendali yang akan digunakan dengan melihat karakteristik masing-masing kendali. Serta penggabungan beberapa kendali seperti proportional + integral, proportional + derivative ataupun proportional + integral + derivative. Dalam aplikasi yang sering digunakan hanyalah penggabungan proportional + integral atau proportional + derivative.

Namun dalam perancangan kendali P, P+I dan P+D dengan menggunakan *electronic workbench* maka penggabungan ketiga kendali ini dapat dimungkinkan karena *electronic workbench* merupakan alat bantu simulasi untuk menampilkan bentuk sinyal penguatan yang dihasilkan oleh rangkaian kendali P, P+I, P+D.

#### 3.2.1 Perancangan Kendali Proportional

Kendali proportional dibuat dengan merangkaikan op-amp sebagai berikut. Terdapat resistor ( $R_f$ ) pada input op-amp dan resistor ( $R_f$ ) pada keluaran op-amp yang kembali terhubung masuk ke input op-amp (*feedback*). Tanda (+) dan (-) pada

terminal masukan op-amp hanya digunakan untuk menyatakan terminal masukan pada op-amp yaitu sebagai *inverting* dan *non-inverting*.



**Gambar 3.3.** Bentuk rangkaian kendali proportional

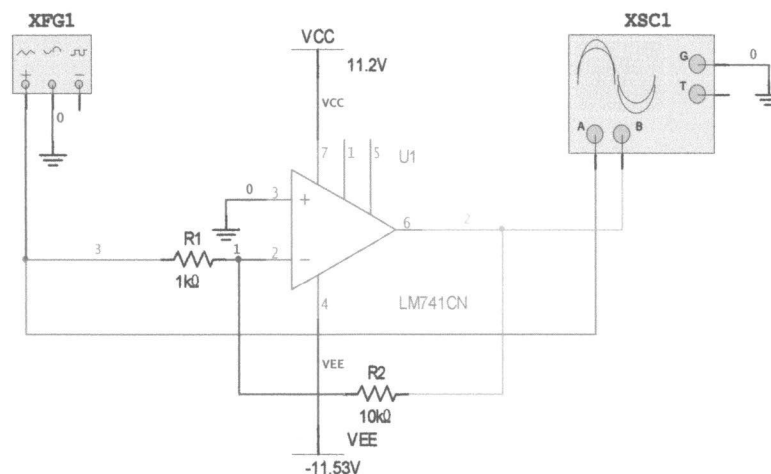
Pada rangkaian proportional besarnya nilai hambatan yang dimiliki oleh  $R_f$  dan  $R_I$  akan mempengaruhi nilai tegangan keluaran atau sering disebut dengan konstanta proportional ( $K_p$ ). Oleh karenanya  $K_p$  dapat diketahui dengan menggunakan persamaan:

$$V_{out} (K_p) = -\frac{R_f}{R_I} V_{in} \quad (3.1)$$

$R_I$  = nilai resistor masukan,

$R_f$  = nilai resistor *feedback*

Pada rangkaian proportional ini disebut juga dengan rangkaian *inverting*, karena bentuk sinyal keluaran yang dihasilkan oleh rangkaian ini akan berbeda fase  $180^\circ$  dengan bentuk sinyal masukannya. Apabila sinyal yang masuk bernilai positif maka sinyal keluaran akan bernilai negatif ini dikarenakan oleh sinyal yang masuk melalui terminal *inverting* pada input op-amp.



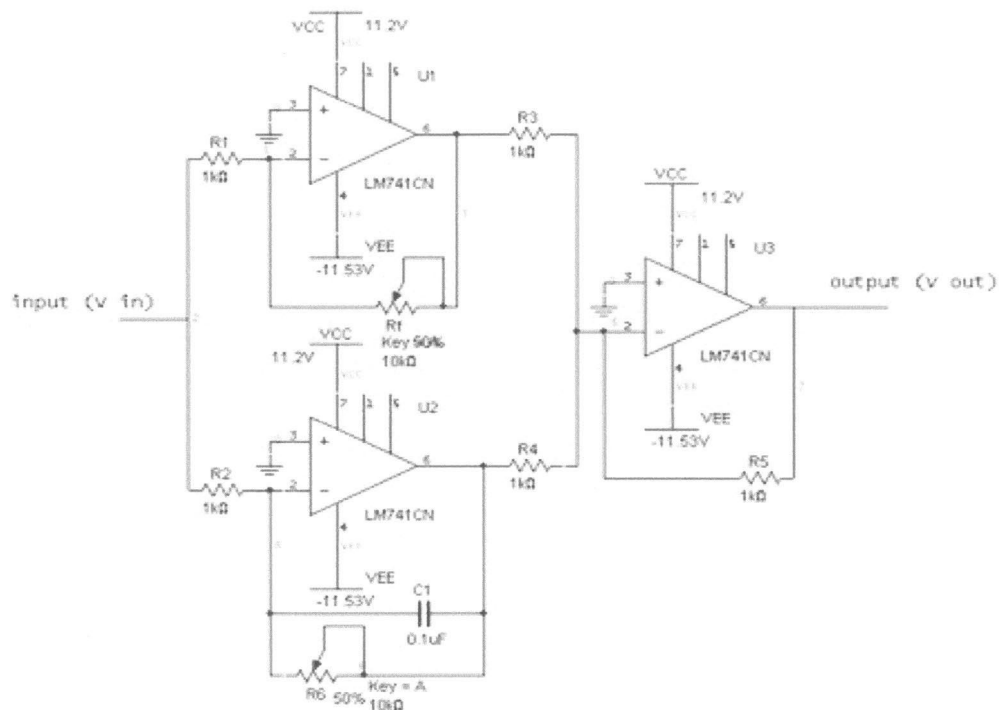
**Gambar 3.4.** Perancangan kendali proportional menggunakan *electronic workbench*

Pada gambar 3.4 merupakan rangkaian kendali proportional dengan menggunakan komponen resistor dengan nilai  $R_1 = 1K_{\Omega}$  dan  $R_2 = 10K_{\Omega}$ , nilai tegangan input ( $V_{in}$ ) = 1 Volt dan frekuensi ( $f$ ) = 1 KHz. Pengendali proportional secara mekanik memiliki karakteristik berupa keluaran yang cenderung tidak pernah mencapai keadaan nol (keadaan yang diinginkan) sehingga membentuk terjadinya *steady state error*.

Secara rangkaian elektronik, bentuk *steady state error* tidak dapat dilihat dilihat karena terdapat keterbatasan pada perangkat elektronik penampil bentuk sinyal keluaran yaitu *oscilloscope*. Semakin besar penguatan pengendali maka semakin besar pula *offset* (kelebihan tegangan) keluaran atau *overshoot* yang ditimbulkan, sehingga menyebabkan terjadinya osilasi.

### 3.2.2 Perancangan Kendali Proportional + Integral

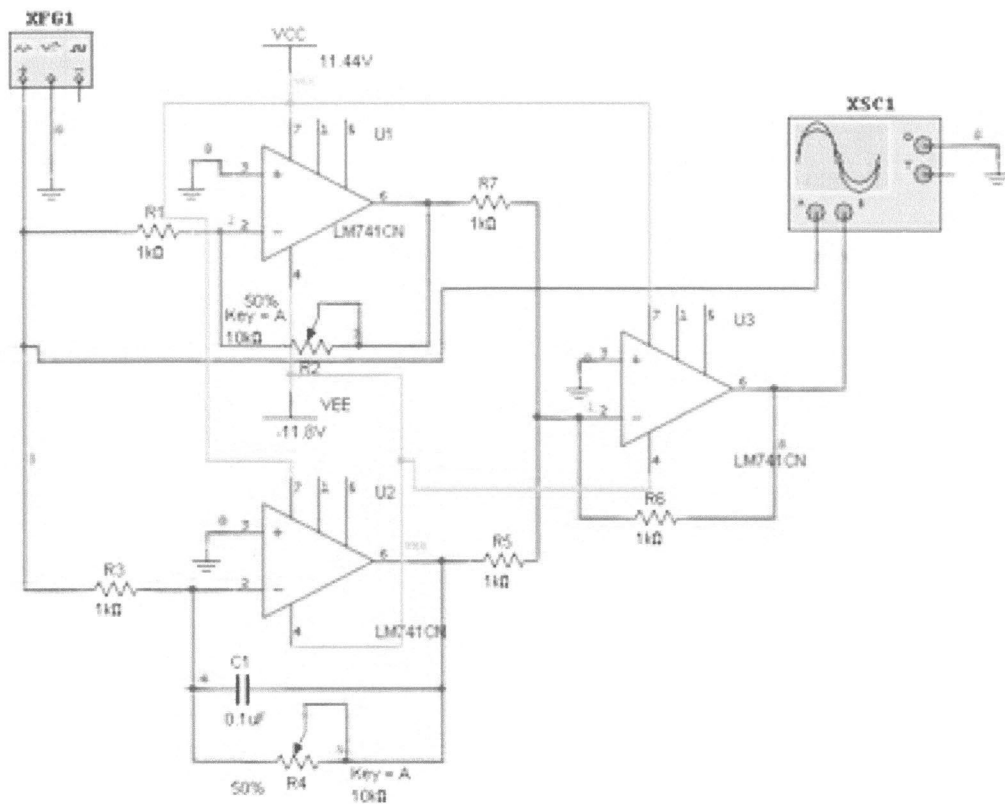
Rangkaian ini merupakan penggabungan dari dua kendali proportional + integral (integrator).



**Gambar 3.5.** Bentuk rangkaian kendali proportional + integral

Pada rangkaian ini terdapat dua konstanta yang perlu diatur nilai penguatannya, dimana terdapat konstanta proportional ( $K_p$ ) dan konstanta integral ( $K_i$ ).

Pada konstanta integral ( $K_i$ ) besarnya penguatan yang diatur tergantung kepada nilai komponen  $RC$ , dimana  $RC$  disini menjadi faktor penguatan waktu kendali oleh kendali PI.



**Gambar 3.6.** Perancangan kendali P+I menggunakan *electronic workbench*

Persamaan yang digunakan untuk menentukan penguatan kendali ini adalah:

$$K_p = \frac{R_6 \cdot R_2}{R_5 \cdot R_1} \quad (3.2)$$

$$\frac{K_i}{s} = \frac{R_6}{R_5 \cdot R_3 \cdot R_4 \cdot C_1} \quad (3.3)$$

$$\frac{V_{out}(PI)}{V_{in}} = K_p + \frac{K_i}{s} \quad (3.4)$$

$$V_{out}(PI) = \frac{R_6}{R_5 \cdot R_3} \left[ \frac{R_2}{R_1} + \frac{1}{R_4 \cdot C_1} \right] V_{in} \quad (3.5)$$

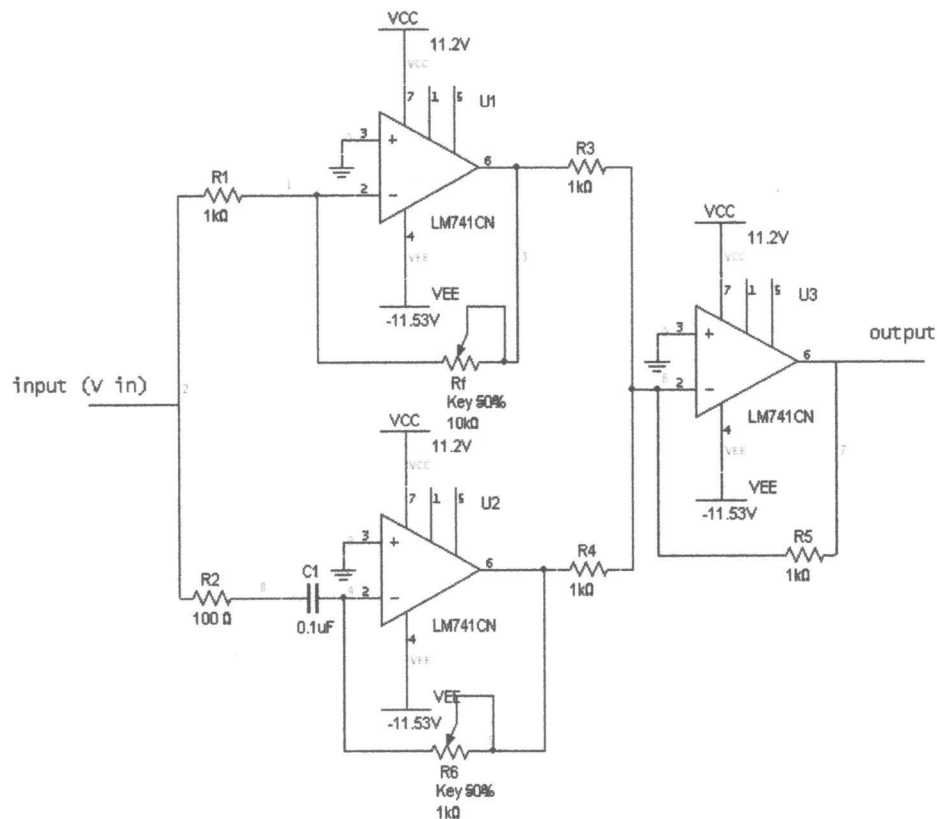
Pada gambar 3.6, perancangan kendali P+I pemilihan nilai komponen yang digunakan adalah  $R_1=R_3=R_5=R_6=1 \text{ K}\Omega$ ,  $R_2=R_4=10 \text{ K}\Omega$  dan  $C=0,1 \mu\text{F}$ .



### 3.2.3 Perancangan Kendali Proportional + Derivative

Pada rangkaian kendali P+D keluaran yang dihasilkan merupakan derivative (turunan) dari masukannya. Tegangan keluaran yang dihasilkan oleh kendali P+D sebanding dengan pemuatan tegangan pada kapasitor ( $C$ ) untuk rangkaian derivative.

Bentuk sinyal keluaran yang dihasilkan oleh kendali P+D akan membentuk suatu turunan dari sinyal masukan yang berupa sinyal kotak (*square wave*). Pengaruh bentuk sinyal ini juga dapat diakibatkan oleh penggabungan komponen resistor dan kapasitor ( $RC$ ) untuk kendali derivative, yang mana gabungan komponen ini akan menjadi suatu tetapan waktu untuk rangkaian derivative.



Gambar 3.7. Bentuk rangkaian kendali proportional + derivative

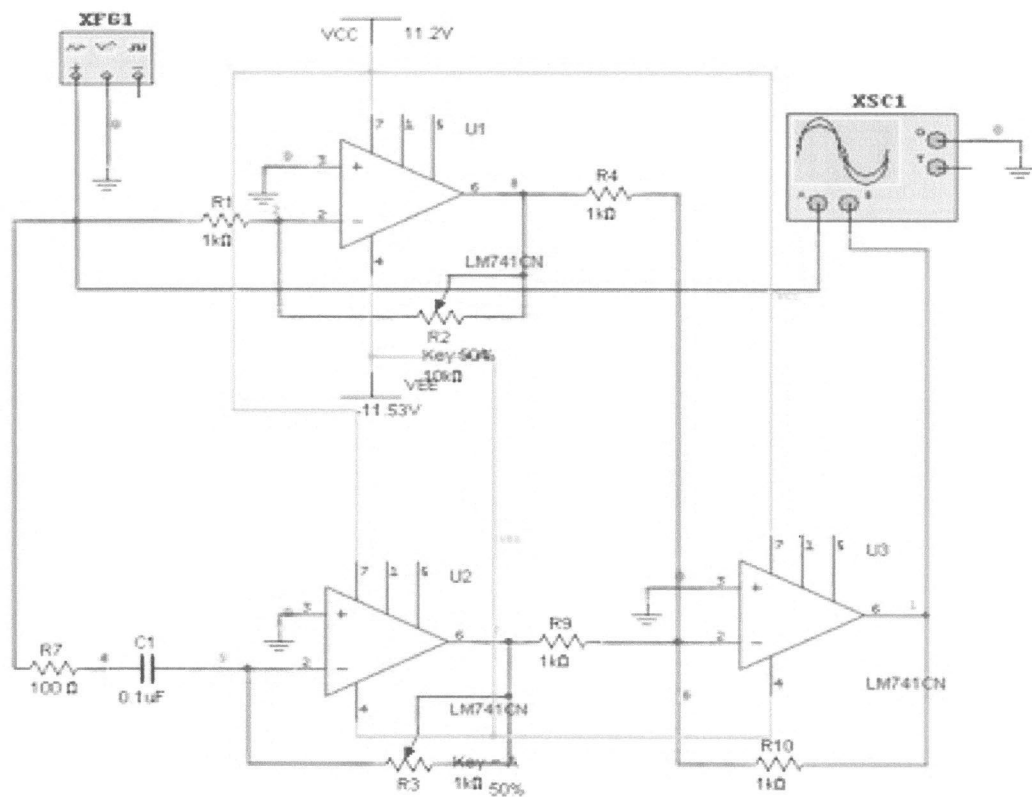
Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai penguatan tegangan pada kendali P+D adalah sebagai berikut:

$$K_p = \frac{R_5(R_2)}{R_4 \cdot R_1} \quad (3.6)$$

$$Kd_s = \frac{R_5 \cdot R_3 \cdot R_6 \cdot C_1}{R_4} \quad (3.7)$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}}(PD) = K_p + Kd_s \quad (3.8)$$

$$V_{out}(PD) = \frac{R_5}{R_4} \left( \frac{R_2}{R_1} + R_6 \cdot R_3 \cdot C_1 \right) V_{in} \quad (3.9)$$



**Gambar 3.8.** Perancangan kendali P+D menggunakan *electronic workbench*

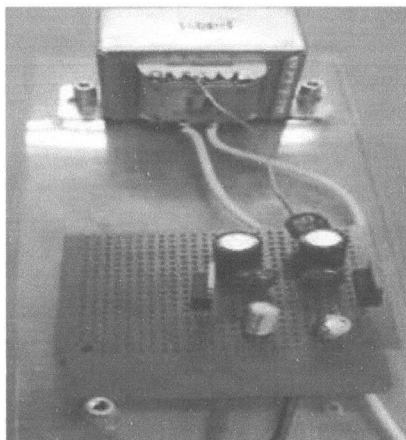
Pada perancangan kendali P+D gambar 3.8 menggunakan *electronic workbench*, nilai komponen yang digunakan untuk merangkai kendali P+D adalah  $R_1=R_8=R_9=R_{10}=1\text{ K}\Omega$ ,  $R_2=10\text{ K}\Omega$ ,  $R_7=100\ \Omega$  dan  $C_1=0,01\ \mu\text{F}$ .

### 3.3 Perancangan *Hardware* Kendali P, P+I dan P+D

Pada perancangan kendali PID disini akan lebih diarahkan pada kendali P, P+I dan P+D secara elektrik, dalam perancangan kendali ini menggunakan perangkat bantu seperti:

#### 1. Catudaya (*Power Supply*)

Merupakan perangkat elektronik yang dapat menghasilkan tegangan kerja bagi op-amp. Tegangan yang dihasilkan oleh *power supply* adalah tegangan DC (*direct current*) dengan besar tegangan sebesar 11,20 Volt dan -11,53 Volt dan nilai arus yang dihasilkan sebesar 1 A.



**Gambar 3.9.** *Power Supply*

Pada gambar 3.9 ditunjukkan bahwa output dari *power supply* terdapat 3 kabel dengan beda warna. Untuk kabel dengan warna kuning menghasilkan tegangan positif, kabel warna merah menghasilkan tegangan negatif dan kabel warna hitam adalah untuk *ground*.

**Tabel 3.1.** Karakteristik *power supply* yang digunakan

Keterangan	Nilai
Trafo	1 A, 9 V
Bridge Rectifier	2 A, 100 V
Kapasitor elektrik	2200 $\mu$ F, 35 V
Kapasitor keramik	100nF, 50 V
Output tegangan (V+)	11,20 V
Output tegangan (V-)	-11,53 V
IC Regulator	7812 dan 7912

## 2. *Function Generator*

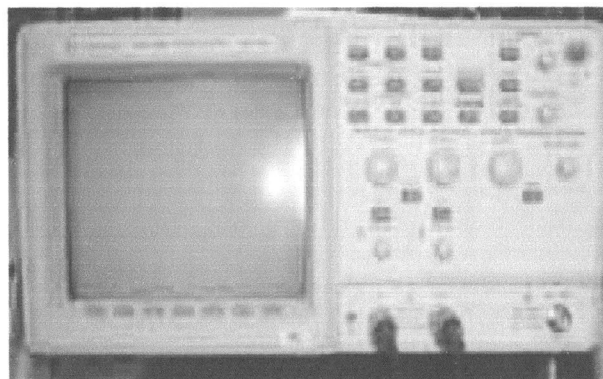
Adalah perangkat elektronik yang dapat menghasilkan sinyal elektrik berupa sinyal sinus, segitiga dan kotak. Tegangan yang dihasilkan dari perangkat ini adalah tegangan AC (*alternating current*). *Function generator* digunakan sebagai input tegangan bagi op-amp, yang mana input tegangan op-amp dapat berupa tegangan AC ataupun DC. Bentuk sinyal serta tegangan yang digunakan dalam perancangan ini adalah sinyal kotak dan tegangan yang digunakan sebesar 1 volt dari *function generator*.



**Gambar 3.10.** *Function generator* yang digunakan

## 3. *Oscilloscope*

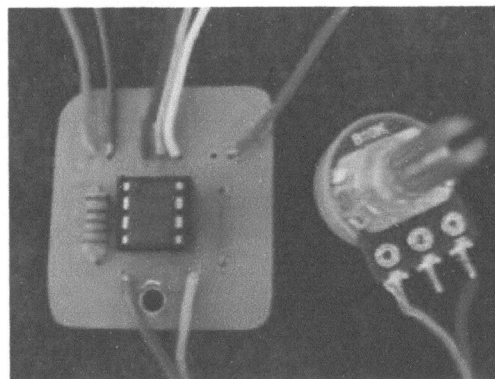
*Oscilloscope* merupakan perangkat elektrik yang digunakan untuk menampilkan bentuk sinyal yang dihasilkan dari rangkaian kendali P, P+I, P+D. Terdapat 2 channel pada oscilloscope yang berfungsi untuk menentukan besarnya skala tegangan sinyal yang akan ditampilkan dan 1 channel yang berfungsi untuk menentukan skala periodik sinyal yang akan ditampilkan.



**Gambar 3.11.** *Oscilloscope* yang digunakan

### 3.3.1 Perancangan Rangkaian Kendali Proportional

Pada perancangan kendali proportional secara elektronik dilakukan dengan memberikan komponen resistor pada input dan output op-amp, pada output resistor yang digunakan berfungsi sebagai umpan balik (*feedback*). Dalam perancangan kendali proportional nilai yang menentukan untuk penguatan tegangan dipengaruhi oleh komponen resistor ( $R_{in}$  dan  $R_f$ ).



Gambar 3.12. Rangkaian elektronik kendali proportional

Spesifikasi perancangan kendali proportional secara elektrik pada gambar 3.11 diterangkan di tabel 3.2:

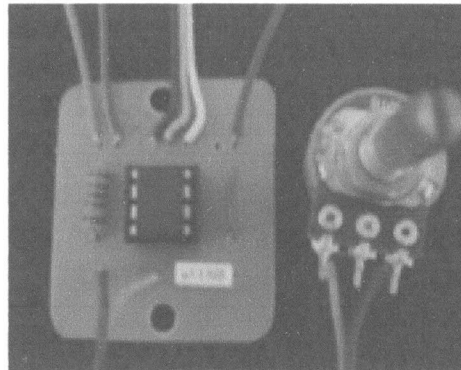
Tabel 3.2. Spesifikasi rangkaian kendali proportional

No.	Komponen	Keterangan	Nilai	Satuan
1.	IC LM-741	Op-amp	-	-
2.	$R_{in}$	$R_{input}$	1	$K_{\Omega}$
3.	$R_f$ (variable resistor)	$R_{feedback}$	10	$K_{\Omega}$
4.	$V_{in}$	Tegangan Input	1	Volt

### 3.3.2 Perancangan Rangkaian Kendali Proportional + Integral (P+I)

Pada perancangan kendali ini terdapat penambahan rangkaian integral (*integrator*) yang nantinya nilai penguatannya akan dijumlahkan dengan rangkaian proportional menggunakan rangkaian *summing amplifier*. Pada perancangan *integrator* ini terdapat komponen kapasitor yang diparalelkan dengan resistor *feedback*. Fungsi komponen kapasitor untuk *integrator* apabila dalam kendali mekanik digunakan untuk dapat meminimalkan error yang terjadi akibat adanya

*overshoot*, ataupun menjumlahkan nilai error yang terjadi menjadi nilai respon yang diinginkan.



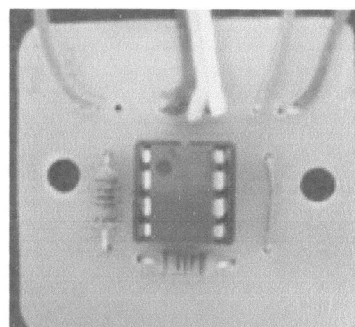
**Gambar 3.13.** Rangkaian elektronik kendali *integrator*

Spesifikasi rangkaian kendali integrator pada gambar 3.13 ditunjukkan pada tabel 3.3 berikut:

**Tabel 3.3.** Spesifikasi rangkaian kendali integral (*integrator*)

No.	Komponen	Keterangan	Nilai	Satuan
1.	IC LM-741	Op-amp	-	-
2.	$R_{in}$	<i>R input</i>	1	$K_{\Omega}$
3.	$R_f$ (variable resistor)	<i>R feedback</i>	10	$K_{\Omega}$
4.	Kapasitor (C)	<i>C integrator</i>	0,1	$\mu$ Farad
5.	$V_{in}$	Tegangan Input	1	Volt

Pada perancangan kendali P+I spesifikasi yang ada pada kendali proportional digabungkan dengan kendali *integrator* yang kemudian dijumlahkan dengan menggunakan rangkaian penjumlah (*summing amplifier*).



**Gambar 3.14.** Rangkaian penjumlah (*summing amplifier*)

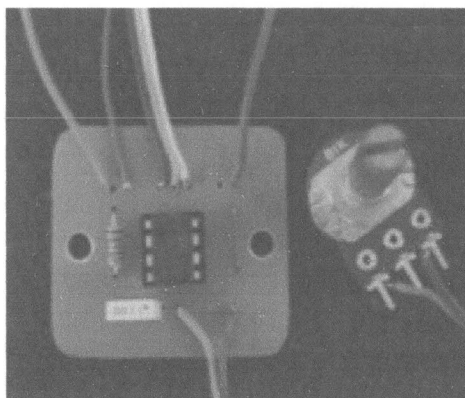
**Tabel 3.4.** Spesifikasi rangkaian *summing amplifier*

No.	Komponen	Keterangan	Nilai	Satuan
1.	IC LM-741	Op-amp	-	-
2.	$R_{in}$	R <i>input</i>	1	$K_{\Omega}$
3.	$R_f$ (variable resistor)	R <i>feedback</i>	1	$K_{\Omega}$
5.	$V_{in}$	Tegangan Input	1	Volt

### 3.3.3 Perancangan Rangkaian Kendali Proportional + Derivative (P+D)

Kendali derivative hampir menyerupai kendali *integrator* namun perbedaannya terdapat pada letak komponen kapasitor. Apabila pada rangkaian *integrator* komponen kapasitor terletak pada output op-amp yang terparalelkan dengan resistor *feedback* ( $R_f$ ), sedangkan pada rangkaian derivative komponen kapasitor terletak pada input op-amp.

Fungsi kapasitor untuk derivative disini berfungsi untuk mempercepat fungsi waktu respon terhadap input. Sehingga apabila kendali ini diterapkan dalam kondisi mekanis akan didapatkan nilai tanggapan waktu yang cepat. Sedangkan untuk mengeliminasi *steady state error* kendali ini hanya terdapat perubahan yang sangat kecil.



**Gambar 3.15.** Rangkaian elektronik kendali *derivative*

**Tabel 3.5.** Spesifikasi rangkaian kendali derivative

No.	Komponen	Keterangan	Nilai	Satuan
1.	IC LM-741	Op-amp	-	-
2.	$R_{in}$	$R_{input}$	100	$\Omega$
3.	$R_f$ (variable resistor)	$R_{feedback}$	1	$K_{\Omega}$
4.	Kapasitor (C)	$C_{derivative}$	0,1	$\mu$ Farad
5.	$V_{in}$	Tegangan Input	1	Volt

Pada perancangan kendali P+D, rangkaian kendali derivative digabungkan dengan dengan kendali proportional (gambar 3.11) dengan spesifikasi pada tabel 3.2. Penggabungan kendali proportional dengan derivative nantinya dijumlahkan dengan menggunakan rangkaian *summing amplifier* (gambar 3.14).



## BAB IV

### HASIL PERANCANGAN KENDALI P, P+I dan P+D

Penggunaan *electronic workbench* (EWB) dalam penelitian lebih difokuskan sebagai simulasi untuk perancangan kendali P, P+I dan P+D. Dengan menggunakan bantuan simulasi ini nantinya akan dibandingkan perancangan kendali P, P+I dan P+D secara *hardware*. Pada perancangan kendali P, P+I dan P+D digunakan spesifikasi komponen yang sama antara perancangan secara simulasi menggunakan *electronic workbench* dengan perancangan *hardware*.

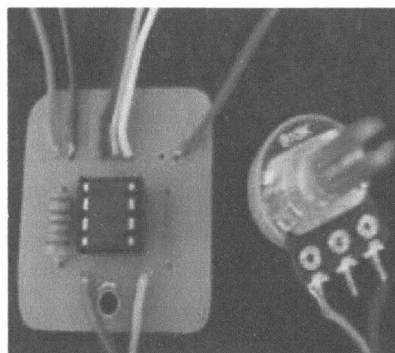
Pengaturan *function generator* dan *oscilloscope* pada perancangan ini disamakan antara perancangan dengan EWB dan perancangan secara rangkaian elektronik (*hardware*). Beberapa hal yang diatur dapat dilihat pada tabel 4.1.

**Tabel 4.1.** Spesifikasi pengaturan pada *function generator* dan *oscilloscope*

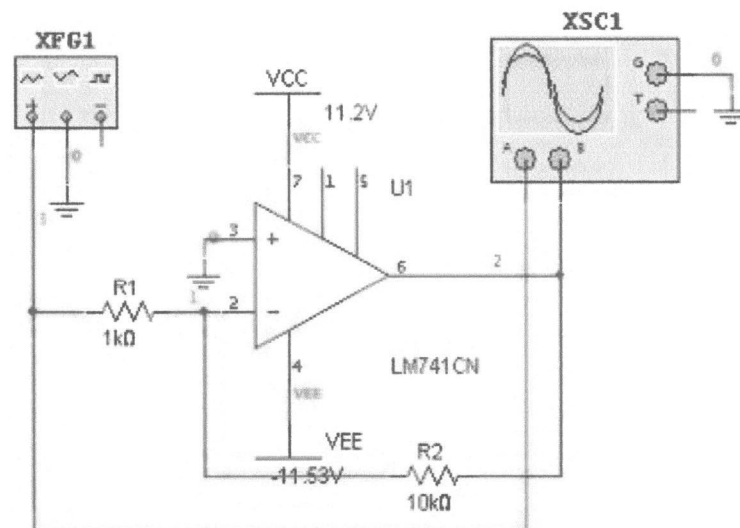
No.	Spesifikasi	EWB		Hardware	
		Nilai	Satuan	Nilai	Satuan
1.	Tegangan input ( $V_{in}$ )	1	Volt	1	Volt
2.	Volt/Division (Ch.1)	1	Volt/Div	1	Volt/Div
3.	Volt/Division (Ch.2)	5	Volt/Div	2	Volt/Div
4.	Second/Division	500	$\mu$ Second/Div	500	$\mu$ Second/Div
5.	Frekuensi	1	KHz	1	KHz

#### 4.1 Perancangan Kendali Proportional

##### 4.1.1 Bentuk Perancangan



**Gambar 4.1.** Kendali proportional rangkaian elektronik



Gambar 4.2. Perancangan kendali proporsional dengan EWB

#### 4.1.2 Tegangan Keluaran Kendali proporsional

Nilai tegangan keluaran ( $V_{out}$ ) kendali proporsional sangat dipengaruhi oleh besarnya nilai resistor *feedback* ( $R_f$ ). Semakin besar nilai ( $R_f$ ), maka akan semakin besar nilai penguatan yang akan didapatkan.

Sesuai dengan spesifikasi komponen pada tabel 3.2 mengenai nilai komponen yang digunakan. Maka perhitungan nilai tegangan keluaran akan didapatkan sebagai berikut:

$$R_{in} = 1K\Omega$$

$$R_f = 10K\Omega$$

$$V_{in} = 1Volt$$

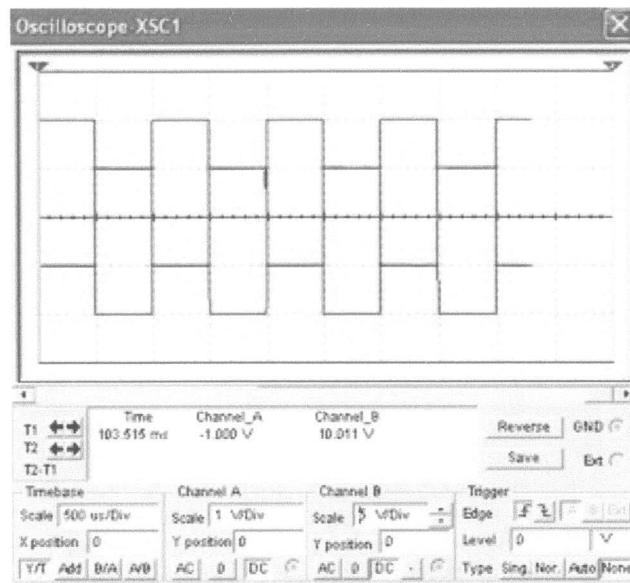
$$V_{out}(P) = -\frac{R_f}{R_{in}} \cdot V_{in} = \frac{10K\Omega}{1K\Omega} \cdot 1Volt$$

$$V_{out}(P) = -10Volt$$

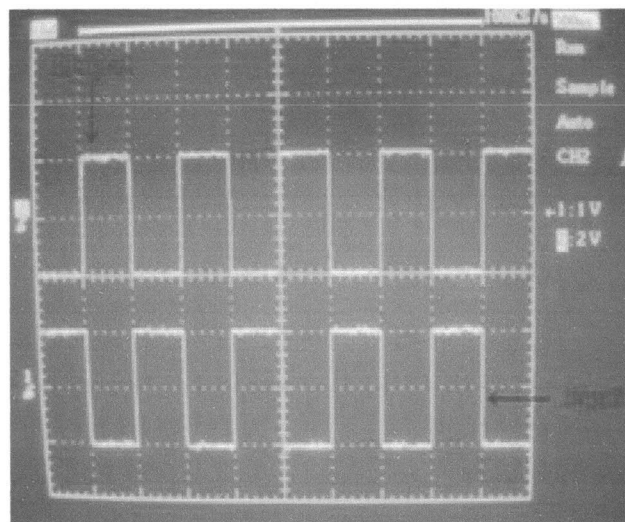
(4.1)

Pada perancangan kendali menggunakan EWB didapatkan nilai penguatan tegangan sebesar -9,98 Volt dan pengukuran nilai tegangan output pada rangkaian proporsional menggunakan multimeter sebesar -9,37 Volt.

Tanda (-) diartikan karena rangkaian proportional merupakan rangkaian pembalik (*inverting*), dimana input tegangan yang masuk melalui input (-) pada op-amp. Karena merupakan rangkaian pembalik maka bentuk sinyal yang dihasilkan oleh kendali proportional nantinya akan berlawanan phase  $180^\circ$ .



**Gambar 4.3.** Bentuk sinyal kendali proportional pada EWB



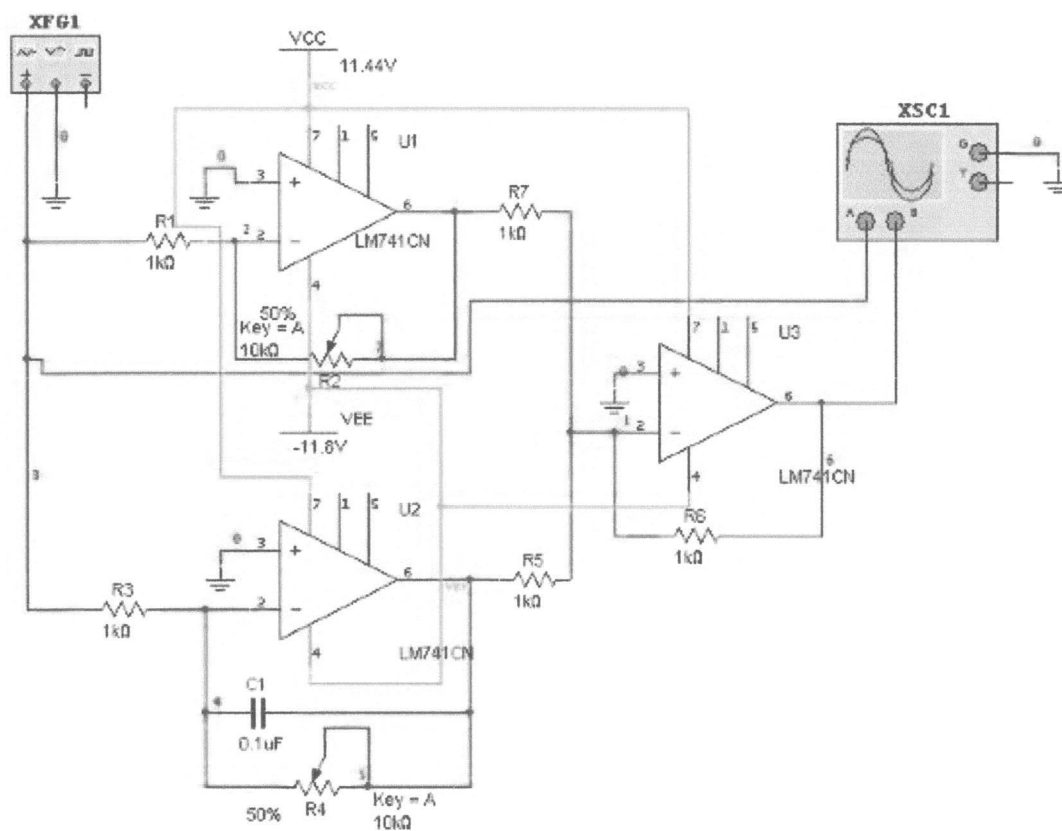
**Gambar 4.4.** Bentuk sinyal kendali proportional secara rangkaian elektronik

Pada gambar 4.3, sinyal input ditunjukkan oleh sinyal yang berwarna biru dan outputnya berwarna hijau. Sedangkan gambar 4.4, sinyal input ditunjukkan oleh sinyal yang berada dibawah pada layar *oscilloscope*. Sinyal output yang dihasilkan oleh kendali proportional sebanding dengan sinyal inputnya.

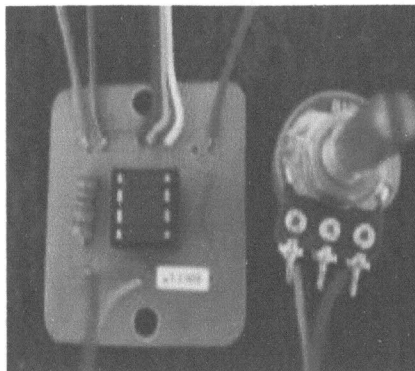
Pada perancangannya komponen  $R_f$  menggunakan komponen variable resistor, yang nilai hambatannya dapat dirubah atau diatur. Sehingga nilai hambatan yang terdapat pada  $R_f$  mempengaruhi besar tegangan keluaran dan berpengaruh pula terhadap bentuk sinyal keluaran yang dihasilkan oleh kendali proportional.

## 4.2 Perancangan Kendali P+I (Proportional Integral)

### 4.2.1 Bentuk Perancangan



**Gambar 4.5.** Perancangan kendali P+I dengan EWB



Gambar 4.6. Kendali integral rangkaian elektronik

#### 4.2.2 Tegangan Keluaran Kendali P+I

Perancangan dilakukan dengan menggabungkan rangkaian kendali proportional dengan rangkaian kendali integral yang kemudian dijumlahkan dengan rangkaian *summing amplifier*. Dengan memperhatikan nilai komponen untuk rangkaian integral dapat dilihat pada tabel 3.3, dan juga nilai komponen rangkaian *summing amplifier* pada tabel 3.4. Untuk penggabungan komponen dan nilainya terdapat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2. Nilai komponen rangkaian kendali P+I

Rangkaian Proportional		Rangkaian Integrator		Rangkaian Sum. Amp	
Komponen	Nilai	Komponen	Nilai	Komponen	Nilai
R <sub>1</sub>	1 K <sub>Ω</sub>	R <sub>3</sub>	1 K <sub>Ω</sub>	R <sub>5</sub>	1 K <sub>Ω</sub>
R <sub>2</sub>	10 K <sub>Ω</sub>	R <sub>4</sub>	10 K <sub>Ω</sub>	R <sub>6</sub>	1 K <sub>Ω</sub>
		C	0,1 μF		

Untuk konstanta proportional digunakan nilai komponen yang sama pada perancangan rangkaian proportional, sehingga tidak ada perubahan nilai komponen. Sehingga nilai tegangan output untuk rangkaian kendali P+I adalah sebagai berikut:

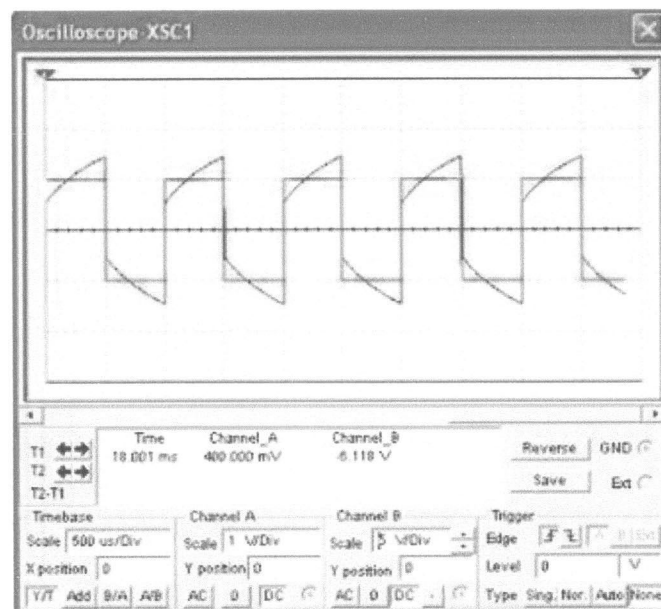
$$\begin{aligned}
 V_{out}^{PI} &= KP + Ki \\
 K_p &= \frac{1K_{\Omega}(10K_{\Omega})}{1K_{\Omega}(1K_{\Omega})} \cdot 1V_{olt} = 10V_{olt} \\
 K_i &= \frac{1K_{\Omega}}{1K_{\Omega} \cdot 1K_{\Omega}(0,001s)} \cdot 1V_{olt} = \frac{1}{1K_{\Omega} \cdot 0,001s} = 1V_{olt} / s \\
 V_{out}^{PI} &= 10V_{olt} + 1V_{olt} / s = 11V_{olt} / s
 \end{aligned}
 \tag{4.2}$$

Pada perancangan menggunakan EWB nilai tegangan output maksimal yang dihasilkan oleh kendali P+I sekitar 12,28 Volt, sedangkan nilai tegangan output yang didapatkan dari pengukuran pada rangkaian P+I dengan mengatur nilai komponen  $R_f$  pada proportional dan  $R_{fc}$  pada integral menggunakan multimeter dapat dilihat pada tabel 4.3.

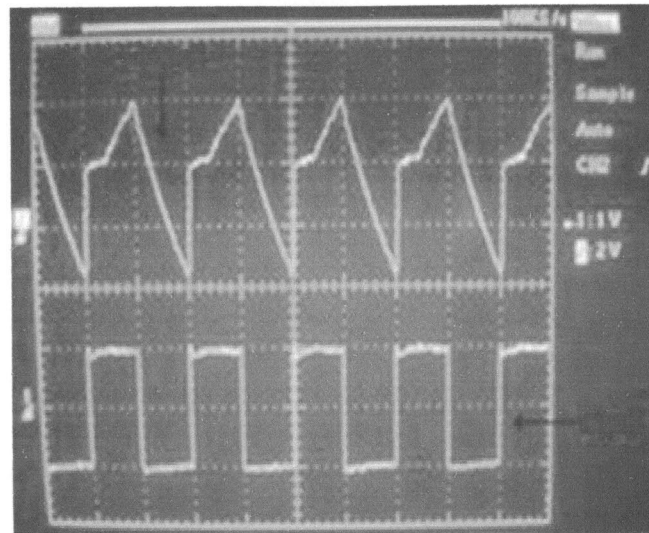
**Tabel 4.3.** Pengaturan komponen rangkaian kendali P+I (*hardware*)

Rangkaian Proporsional	Rangkaian Integral	Tegangan Output (Vout P+I)	
Komponen	Komponen	Nilai	Satuan
$R_f$ Minimum	$R_{fc}$ Minimum	0	Volt
$R_f$ Maximum	$R_{fc}$ Minimum	2,8	Volt
$R_f$ Minimum	$R_{fc}$ Maximum	1	Volt
$R_f$ Maximum	$R_{fc}$ Maximum	2,13	Volt

Pengendali integral memiliki karakter melakukan penjumlahan terus menerus dari masukannya selama selang waktu yang diberikan. Karenanya terlihat pada bentuk sinyal yang dihasilkan oleh rangkaian kendali integral, sinyal kotak (persegi sebagai input dijumlahkan sehingga terbentuk sinyal segitiga. Terlihat pada gambar 4.7 dan 4.8



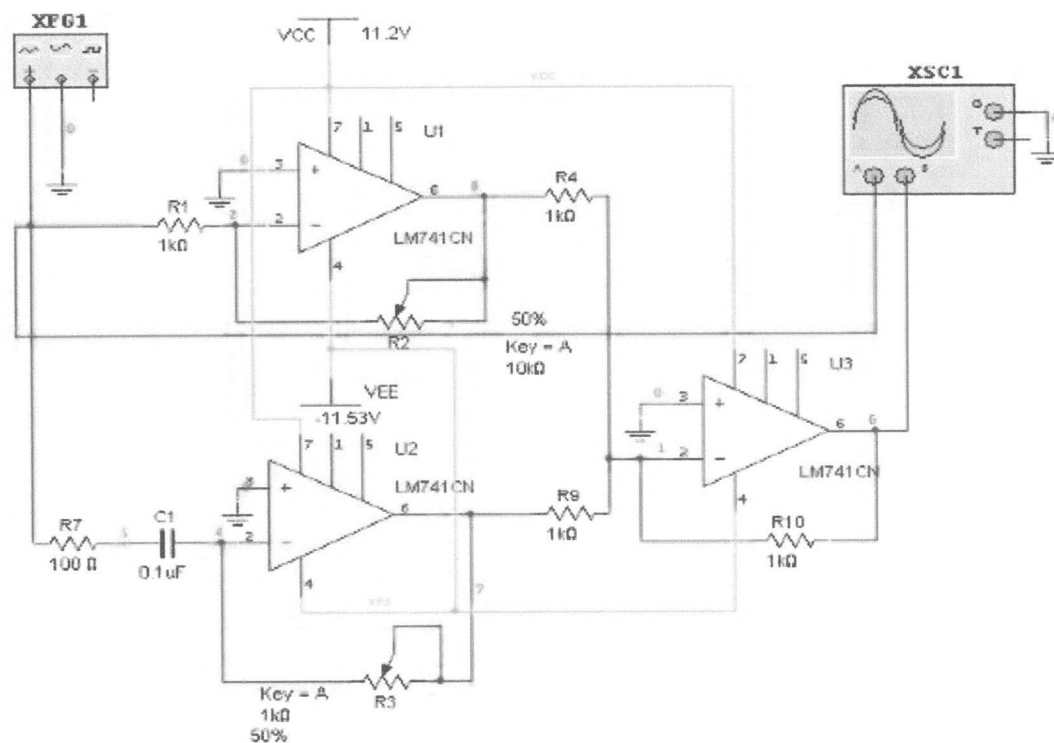
**Gambar 4.7.** Bentuk sinyal pengendali P+I pada EWB



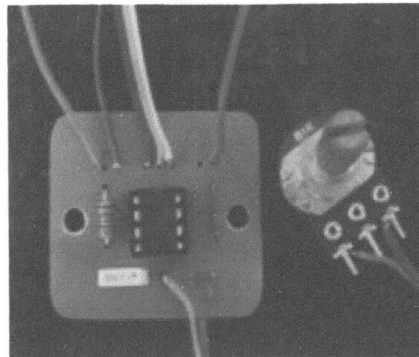
Gambar 4.8. Bentuk sinyal rangkaian elektronik kendali P+I

### 4.3 Perancangan Kendali P+D

#### 4.3.1 Bentuk Perancangan



Gambar 4.9. Perancangan kendali P+D dengan EWB



Gambar 4.10. Kendali derivative secara elektronik

#### 4.3.2 Tegangan Keluaran Kendali P+D

Sama dengan kendali P+I, pada kendali P+D disini juga menggabungkan 2 rangkaian yaitu rangkaian proporsional dan derivative. Perbedaan yang terletak pada rangkaian integral dan derivative adalah letak kapasitor ( $C$ ). Apabila pada rangkaian integral komponen terparalelkan dengan  $R_f$ . Sedangkan pada rangkaian derivative, komponen kapasitor terletak pada input op-amp.

Tabel 4.4. Nilai komponen rangkaian kendali P+D

Rangkaian Proportional		Rangkaian Derivative		Rangkaian Sum. Amp	
Komponen	Nilai	Komponen	Nilai	Komponen	Nilai
$R_1$	$1 K_{\Omega}$	$R_3$	$100_{\Omega}$	$R_5$	$1 K_{\Omega}$
$R_2$	$10 K_{\Omega}$	$R_4$	$1 K_{\Omega}$	$R_6$	$1 K_{\Omega}$
		$C$	$0,1 \mu F$		

Berdasarkan dari nilai komponen untuk rangkaian kendali P+D tabel 4.4, maka perhitungan nilai tegangan keluaran kendali P+D secara teoritis adalah:

$$\begin{aligned}
 V_{out PD} &= K_p + K_d \\
 K_p &= \frac{1K_{\Omega}(10K_{\Omega})}{1K_{\Omega}(1K_{\Omega})} = 10Volt \\
 K_d &= \frac{1K_{\Omega} \cdot 1K_{\Omega} \cdot (100_{\Omega} \cdot 0,1\mu F)}{1K_{\Omega}} \cdot 1Volt = 0,01Volt.s \\
 V_{out PD} &= 10Volt + 0,01Volt.s = 10,01Volt.s
 \end{aligned}
 \tag{4.3}$$

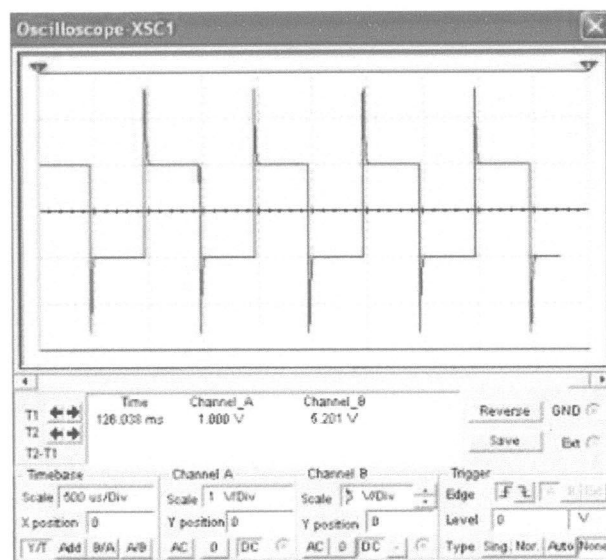


Perancangan kendali P+D menggunakan EWB didapatkan nilai tegangan output maksimal sebesar 10,005 Volt. Sedangkan nilai tegangan output pada rangkaian elektronik kendali P+D didapat dengan mengatur besarnya hambatan pada komponen  $R_f$  pada rangkaian proporsional dan  $R_f$  pada rangkaian derivative. Tegangan output yang dihasilkan dari rangkaian elektronik kendali P+D terdapat pada tabel 4.5 berikut:

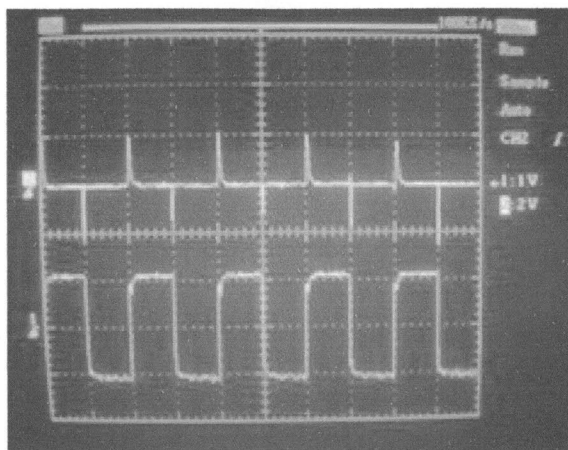
**Tabel 4.5.** Pengaturan komponen rangkaian kendali P+D (*hardware*)

Rangkaian Proportional	Rangkaian Derivative	Tegangan Output ( $V_{out}$ P+I)	
		Nilai	Satuan
$R_f$ Minimum	$R_{fc}$ Minimum	0	Volt
$R_f$ Maximum	$R_{fc}$ Minimum	3,16	Volt
$R_f$ Minimum	$R_{fc}$ Maximum	0,59	Volt
$R_f$ Maximum	$R_{fc}$ Maximum	4,02	Volt

Kendali derivative memiliki karakteristik output sebagai pengurangan atau penurunan respon sinyal masukan. Pengendali derivative disebut juga dengan aksi laju, karena merupakan fungsi perubahan laju sinyal masukan terhadap keluaran. Bentuk penurunan sinyal output pada kendali P+D ini dapat dilihat pada gambar 4.11 dan 4.12.



**Gambar 4.11.** Bentuk sinyal pengendali P+D dengan EWB



**Gambar 4.12.** Bentuk sinyal rangkaian elektronik kendali P+D

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan kendali proportional (P), proportional + integral (P+I) dan proportional + derivative (P+D), maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Perancangan kendali P, P+I, P+D dengan menggunakan *electronic workbench* (EWB) membantu dalam pensimulasian terhadap karakteristik kendali.
2. Perancangan secara *hardware* kendali P, P+I dan P+D dilakukan dengan perancangan secara variatif karena harus mencari bentuk rangkaian dan nilai komponen (secara elektronik) yang cocok.
3. Perubahan konstanta akan mengakibatkan perubahan nilai tegangan output dan bentuk sinyal keluaran. yang dihasilkan.
4. Pada perancangan rangkaian kendali secara elektronik, bentuk sinyal yang dihasilkan pada layar *oscilloscope* tidak sama persis dengan bentuk sinyal pada perancangan menggunakan EWB. Hal ini terjadi karena pada perancangan kendali menggunakan EWB tidak terganggu oleh adanya *noise*, sedangkan perancangan secara *hardware* sangat berpengaruh terhadap adanya *noise*.
5. Penggunaan kendali tergantung dari karakteristik kendali yang diinginkan. Seperti penggunaan kendali P+I atau kendali P+D.

### 5.2 Saran

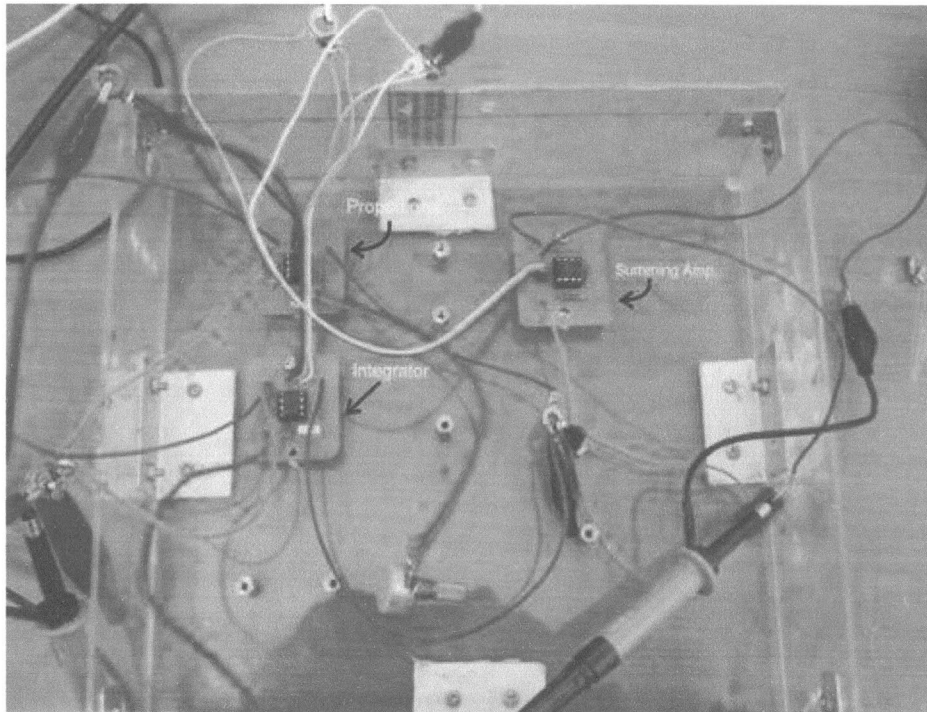
Saran-saran berikut dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya:

1. Karena penelitian dilakukan dengan perancangan secara variatif, maka perlu perencanaan yang lebih baik untuk mencapai kondisi terbaik sistem kendali.
2. Penelitian lebih lanjut mengenai variasi perancangan sistem kendali P, P+I dan P+D, terutama variasi pada perancangan secara elektronik (*hardware*).

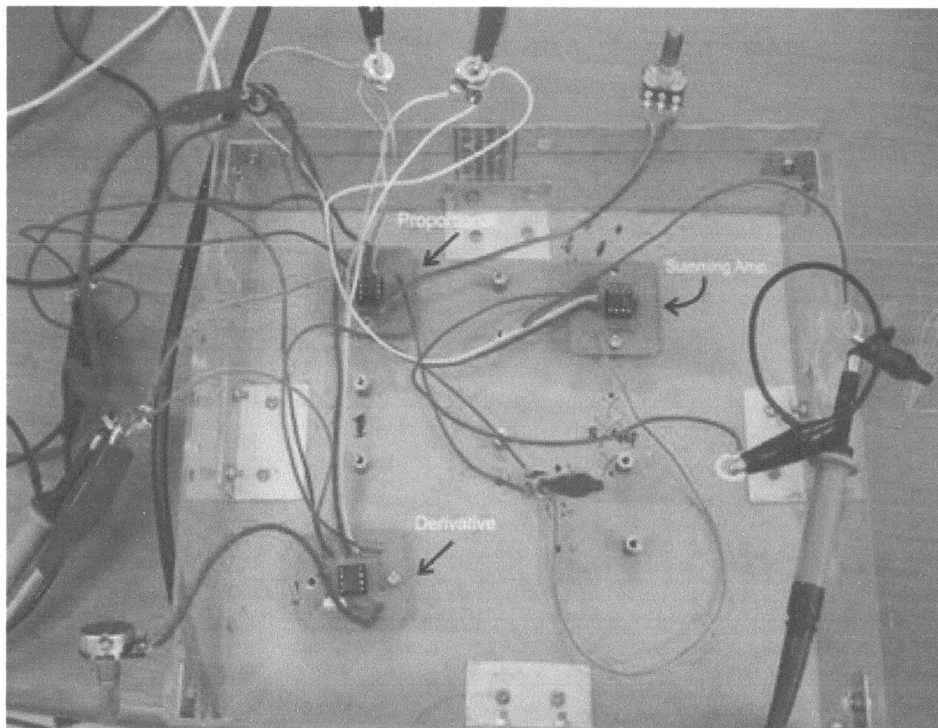
## DAFTAR PUSTAKA

- [Why,2004] Wahyudi, 2004. *Diktat Mata Kuliah Kontrol Berbasis Komputer*. Teknik Mesin UII
- [Sms,1996] Simson, Colin D. 1996. *Industrial Electronic*. Prentice-Hall, Inc.
- [Fly,1998] Floyd, Thomas, L. 1998. *Electronics Fundamentals Circuits, Devices, and Applications* (4<sup>th</sup> ed), Prentice-Hall International, Inc.
- [Arf,2004] Nurhadiyanto, M. Arif. 2004. *Diktat Mata Kuliah Kontrol Berbasis Komputer*. Teknik Mesin UII.
- [Bcl&Mlh,1992] Buchla, D., & McLaughlan W. 1992. *Applied Electronic Instrumentation and Measurement*. Prentice-Hall, Inc.
- [Alc& Mch,2003] Alciator, David G., & Histan, Michael B. 2003. *Introduction To Mechatronics and Measurement*. Tata McGraw-Hill.
- [Gwk,1993] Gawakyard, Ramakanta A. 1993. *Op-Amps and Linear Circuits* (3<sup>th</sup> ed), Prentice-Hall, Inc.
- [Frd,2006] Ferdinando, Hany, *Desain PID Controller Dengan Software MatLab, Jurnal*, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- [Nry,2004] Neary, Eamon. *Mixed-Signal Control Circuits Use Microcontroller for Flexibility in Implementing PID Algorithms*. <http://www.analog.com/analogdialogue>. (Diakses 31 Januari 2007).
- [UMI,2006] [www.engin.umich.edu](http://www.engin.umich.edu). (Diakses 15 Desember 2006).
- [ZON,2006] <http://www.zone.ni.com> (Diakses 16 Desember 2006).

# LAMPIRAN



Bentuk Rangkaian Elektronik Kendali *Proportional+Integral* (P+I)



Bentuk Rangkaian Elektronik Kendali *Proportional+Derivative* (P+D)

# LM741

## Operational Amplifier

### General Description

The LM741 series are general purpose operational amplifiers which feature improved performance over industry standards like the LM709. They are direct, plug-in replacements for the 709C, LM201, MC1439 and 748 in most applications.

The amplifiers offer many features which make their application nearly foolproof: overload protection on the input and

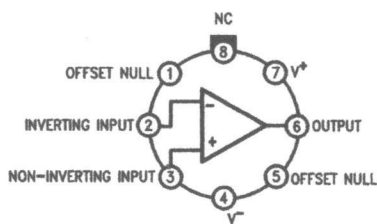
output, no latch-up when the common mode range is exceeded, as well as freedom from oscillations.

The LM741C is identical to the LM741/LM741A except that the LM741C has their performance guaranteed over a 0°C to +70°C temperature range, instead of -55°C to +125°C.

### Features

### Connection Diagrams

**Metal Can Package**

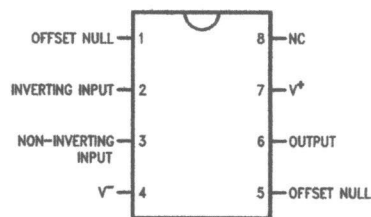


00934102

Note 1: LM741H is available per JM38510/10101

**Order Number LM741H, LM741H/883 (Note 1),  
LM741AH/883 or LM741CH**  
See NS Package Number H08C

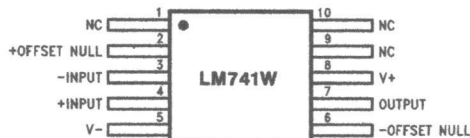
**Dual-In-Line or S.O. Package**



00934103

**Order Number LM741J, LM741J/883, LM741CN**  
See NS Package Number J08A, M08A or N08E

**Ceramic Flatpak**

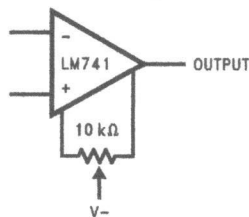


00934106

**Order Number LM741W/883**  
See NS Package Number W10A

### Typical Application

**Offset Nulling Circuit**



00934107

**Absolute Maximum Ratings** (Note 2)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/ Distributors for availability and specifications.

(Note 7)

	LM741A	LM741	LM741C
Supply Voltage	±22V	±22V	±18V
Power Dissipation (Note 3)	500 mW	500 mW	500 mW
Differential Input Voltage	±30V	±30V	±30V
Input Voltage (Note 4)	±15V	±15V	±15V
Output Short Circuit Duration	Continuous	Continuous	Continuous
Operating Temperature Range	-55°C to +125°C	-55°C to +125°C	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Junction Temperature	150°C	150°C	100°C
Soldering Information			
N-Package (10 seconds)	260°C	260°C	260°C
J- or H-Package (10 seconds)	300°C	300°C	300°C
M-Package			
Vapor Phase (60 seconds)	215°C	215°C	215°C
Infrared (15 seconds)	215°C	215°C	215°C
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.			
ESD Tolerance (Note 8)	400V	400V	400V

**Electrical Characteristics** (Note 5)

Parameter	Conditions	LM741A			LM741			LM741C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$					1.0	5.0		2.0	6.0	mV
	$R_S \leq 10\text{ k}\Omega$		0.8	3.0							mV
	$R_S \leq 50\Omega$										
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			4.0							mV
	$R_S \leq 50\Omega$						6.0			7.5	mV
	$R_S \leq 10\text{ k}\Omega$										
Average Input Offset Voltage Drift			15								$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Voltage Adjustment Range	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20\text{V}$	±10				±15			±15		mV
Input Offset Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		3.0	30		20	200		20	200	nA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			70		85	500			300	nA
Average Input Offset Current Drift				0.5							$\text{nA}/^\circ\text{C}$
Input Bias Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		30	80		80	500		80	500	nA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			0.210			1.5			0.8	$\mu\text{A}$
Input Resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20\text{V}$	1.0	6.0		0.3	2.0		0.3	2.0		$\text{M}\Omega$
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}, V_S = \pm 20\text{V}$	0.5									$\text{M}\Omega$
Input Voltage Range	$T_A = 25^\circ\text{C}$							±12	±13		V
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$				±12	±13					V



### Electrical Characteristics (Note 5) (Continued)

Parameter	Conditions	LM741A			LM741			LM741C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Large Signal Voltage Gain	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ $V_S = \pm 20\text{V}$ , $V_O = \pm 15\text{V}$ $V_S = \pm 15\text{V}$ , $V_O = \pm 10\text{V}$	50			50	200		20	200		V/mV V/mV
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ , $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ , $V_S = \pm 20\text{V}$ , $V_O = \pm 15\text{V}$ $V_S = \pm 15\text{V}$ , $V_O = \pm 10\text{V}$	32			25			15			V/mV V/mV
	$V_S = \pm 5\text{V}$ , $V_O = \pm 2\text{V}$	10									V/mV
Output Voltage Swing	$V_S = \pm 20\text{V}$ $R_L \geq 10\text{ k}\Omega$	$\pm 16$									V
	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	$\pm 15$									V
	$V_S = \pm 15\text{V}$ $R_L \geq 10\text{ k}\Omega$				$\pm 12$	$\pm 14$		$\pm 12$	$\pm 14$		V
	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$				$\pm 10$	$\pm 13$		$\pm 10$	$\pm 13$		V
Output Short Circuit Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$	10	25	35		25			25		mA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$	10		40							mA
Common-Mode Rejection Ratio	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$ , $V_{CM} = \pm 12\text{V}$				70	90		70	90		dB
	$R_S \leq 50\Omega$ , $V_{CM} = \pm 12\text{V}$	80	95								dB
Supply Voltage Rejection Ratio	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ , $V_S = \pm 20\text{V}$ to $V_S = \pm 5\text{V}$ $R_S \leq 50\Omega$	86	96								dB
	$R_S \leq 10\text{ k}\Omega$				77	96		77	96		dB
Transient Response	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , Unity Gain	Rise Time		0.25	0.8		0.3		0.3		$\mu\text{s}$
		Overshoot		6.0	20		5		5		%
Bandwidth (Note 6)	$T_A = 25^\circ\text{C}$	0.437	1.5								MHz
Slew Rate	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , Unity Gain	0.3	0.7			0.5		0.5			V/ $\mu\text{s}$
Supply Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$					1.7	2.8	1.7	2.8		mA
Power Consumption	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_S = \pm 20\text{V}$ $V_S = \pm 15\text{V}$		80	150		50	85	50	85		mW mW
	$V_S = \pm 20\text{V}$ $T_A = T_{AMIN}$			165							mW
	$T_A = T_{AMAX}$			135							mW
	$V_S = \pm 15\text{V}$ $T_A = T_{AMIN}$					60	100				mW
LM741	$T_A = T_{AMAX}$					45	75				mW

**Note 2:** "Absolute Maximum Ratings" indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits.

## Electrical Characteristics (Note 5) (Continued)

**Note 3:** For operation at elevated temperatures, these devices must be derated based on thermal resistance, and  $T_j$  max. (listed under "Absolute Maximum Ratings").  $T_j = T_A + (\theta_{JA} P_D)$ .

Thermal Resistance	Cerdip (J)	DIP (N)	HO8 (H)	SO-8 (M)
$\theta_{JA}$ (Junction to Ambient)	100°C/W	100°C/W	170°C/W	195°C/W
$\theta_{JC}$ (Junction to Case)	N/A	N/A	25°C/W	N/A

**Note 4:** For supply voltages less than  $\pm 15V$ , the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

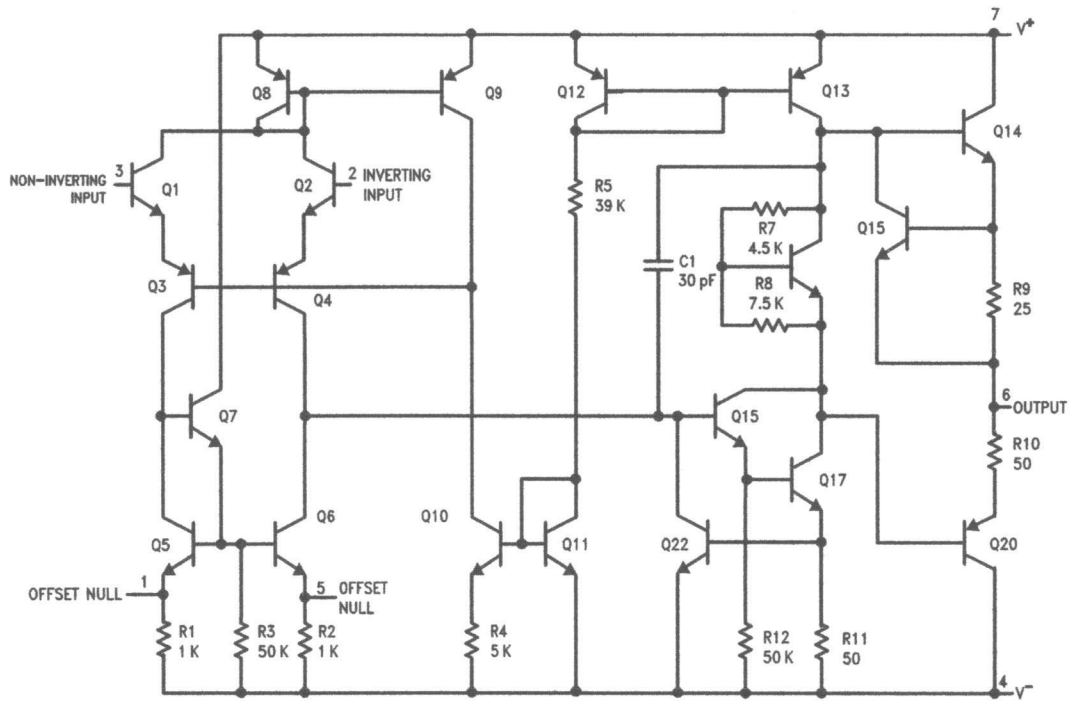
**Note 5:** Unless otherwise specified, these specifications apply for  $V_S = \pm 15V$ ,  $-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$  (LM741/LM741A). For the LM741C/LM741E, these specifications are limited to  $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$ .

**Note 6:** Calculated value from:  $BW$  (MHz) =  $0.35/\text{Rise Time}(\mu s)$ .

**Note 7:** For military specifications see RETS741X for LM741 and RETS741AX for LM741A.

**Note 8:** Human body model, 1.5 k $\Omega$  in series with 100 pF.

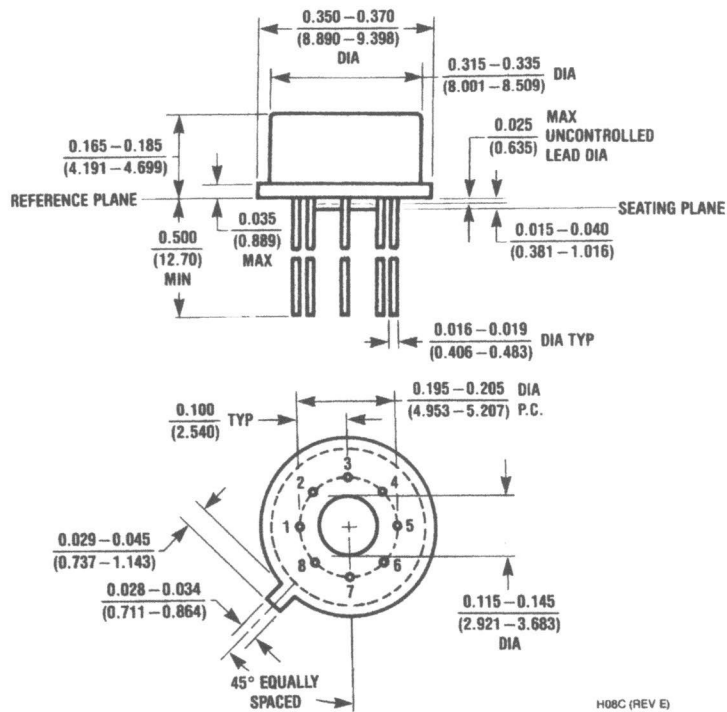
## Schematic Diagram



00934101

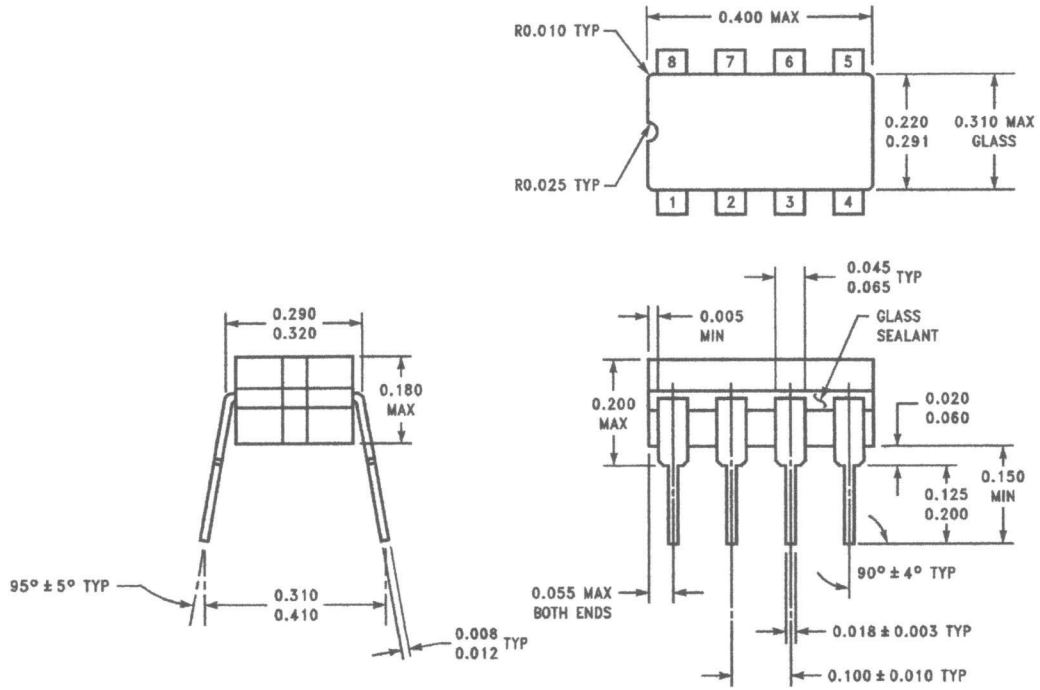
**Physical Dimensions** inches (millimeters)

unless otherwise noted



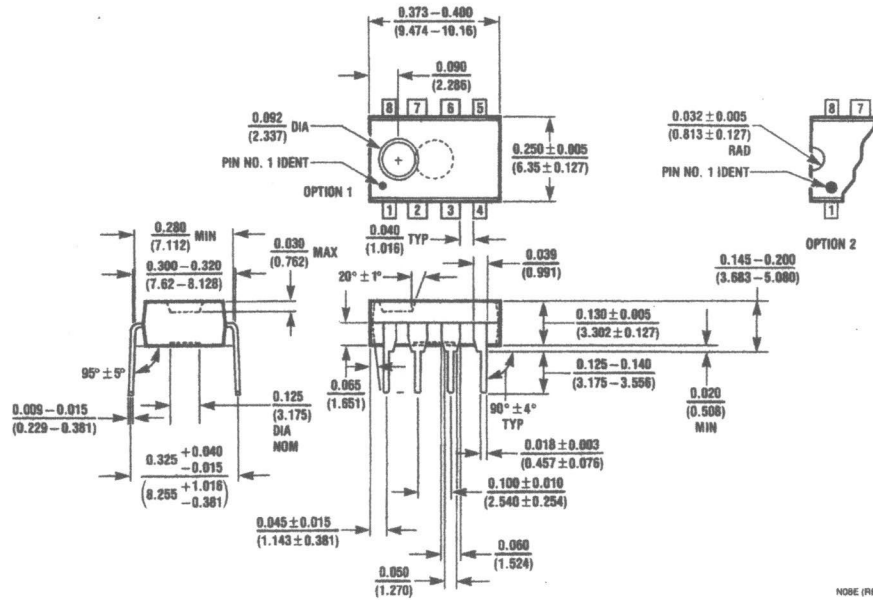
**Metal Can Package (H)**  
**Order Number LM741H, LM741H/883, LM741AH/883, LM741AH-MIL or LM741CH**  
**NS Package Number H08C**

**Physical Dimensions** inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



J08A (REV K)

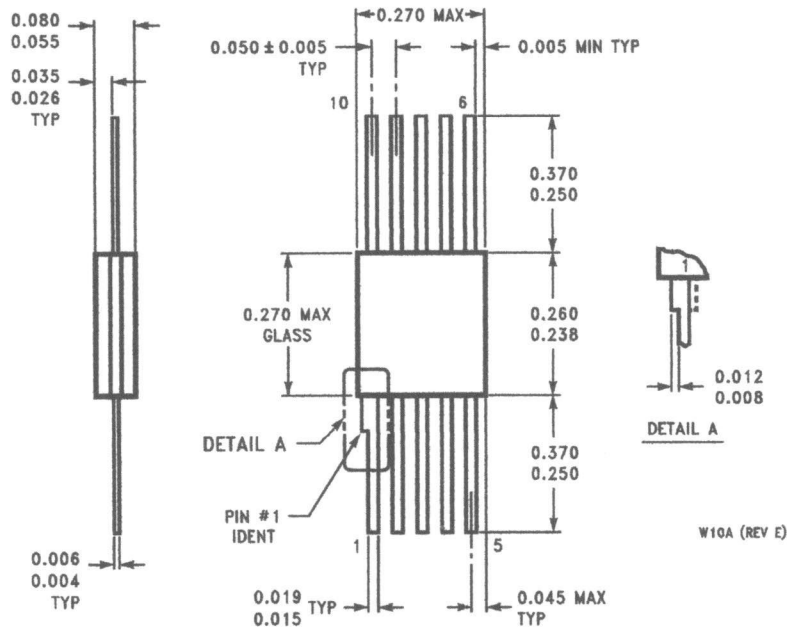
**Ceramic Dual-In-Line Package (J)**  
**Order Number LM741J/883**  
**NS Package Number J08A**



N08E (REV F)

**Dual-In-Line Package (N)**  
**Order Number LM741CN**  
**NS Package Number N08E**

**Physical Dimensions** inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



**10-Lead Ceramic Flatpak (W)**  
**Order Number LM741W/883, LM741WG-MPR or LM741WG/883**  
**NS Package Number W10A**

W10A (REV E)

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

For the most current product information visit us at [www.national.com](http://www.national.com).

**LIFE SUPPORT POLICY**

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

**BANNED SUBSTANCE COMPLIANCE**

National Semiconductor certifies that the products and packing materials meet the provisions of the Customer Products Stewardship Specification (CSP-9-111C2) and the Banned Substances and Materials of Interest Specification (CSP-9-111S2) and contain no "Banned Substances" as defined in CSP-9-111S2.

**National Semiconductor**  
**Americas Customer**  
**Support Center**  
 Email: [new.feedback@nsc.com](mailto:new.feedback@nsc.com)  
 Tel: 1-800-272-9959

**National Semiconductor**  
**Europe Customer Support Center**  
 Fax: +49 (0) 180-530 85 86  
 Email: [europe.support@nsc.com](mailto:europe.support@nsc.com)  
 Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208  
 English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171  
 Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

**National Semiconductor**  
**Asia Pacific Customer**  
**Support Center**  
 Email: [ap.support@nsc.com](mailto:ap.support@nsc.com)

**National Semiconductor**  
**Japan Customer Support Center**  
 Fax: 81-3-5639-7507  
 Email: [jpn.feedback@nsc.com](mailto:jpn.feedback@nsc.com)  
 Tel: 81-3-5639-7560

[www.national.com](http://www.national.com)