

# DAFTAR ISI

<b>DAFTAR ISI</b> .....	1
<b>PENDAHULUAN</b> .....	3
<b>PEDOMAN UMUM</b> .....	3
<b>PERCOBAAN 1</b> .....	5
1. Teori Dasar .....	5
2. Prosedur Percobaan .....	6
3. Ringkasan .....	7
<b>PERCOBAAN 2</b> .....	8
1. Teori Dasar .....	8
2. Prosedur Percobaan .....	10
3. Ringkasan .....	10
<b>PERCOBAAN 3</b> .....	11
1. Teori Dasar .....	11
2. Prosedur Percobaan .....	13
3. Ringkasan .....	13
<b>PERCOBAAN 4</b> .....	14
1. Teori Dasar .....	14
2. Prosedur Percobaan .....	16
3. Ringkasan .....	17
<b>PERCOBAAN 5</b> .....	18
1. Teori Dasar .....	18
2. Prosedur Percobaan .....	20
3. Ringkasan .....	21
<b>PERCOBAAN 6</b> .....	22
1. Teori Dasar .....	22
2. Prosedur Percobaan .....	25
3. Ringkasan .....	26

**Peralatan Tambahan:**

Untuk memaksimalkan efisiensi pembelajaran, instrumen berikut sangat penting dalam melakukan percobaan yang tercantum di dalam jobsheet ini. Instrumen praktikum sudah tersedia dalam bentuk trainer. Praktikan harus menyediakan peralatan tambahan berikut ini.

1. Osiloskop: Osiloskop dengan kemampuan lacak ganda. Jejak ganda harus dapat diatur untuk menghasilkan keluaran X vs Y di layar. Ini lebih disukai untuk memiliki penyesuaian ketekunan variabel untuk mempertahankan gambar yang diambil pada layar untuk jangka waktu yang lebih lama.
2. Voltmeter: Voltmeter harus memiliki impedansi masukan yang tinggi. Rentang tegangan DC diperlukan setidaknya 15V.

## **PENDAHULUAN**

DC servo trainer ED-4400B dari ED. CO, LTD. adalah sistem servo DC loop tertutup yang dirancang dalam konstruksi modular. Konsep utama di balik sistem pelatih ED-4400B adalah untuk memberikan pengetahuan kerja praktis pada sistem servo DC loop tertutup kepada pengguna dengan mengintegrasikan teori dasar dan eksperimen langkah demi langkah ke dalam satu subjek. Untuk memaksimalkan efektivitas pendidikan, setiap bagian diakhiri dengan ringkasan singkat untuk menyimpulkan apa yang telah dipelajari pengguna dalam eksperimen.

Konstruksi modular dalam ED-4400B membuatnya sangat sederhana dan mudah untuk merakit sistem eksperimental. Semua yang diperlukan adalah membuat hubungan antara modul seperti yang diperintahkan dalam diagram pengkabelan setiap bagian menggunakan kabel patch yang disediakan. Sebanyak 14 percobaan tercakup dalam manual ini. Pada akhir manual ini, karakteristik motor yang digunakan dalam ED-4400B dan skema dari setiap modul disajikan sebagai informasi tambahan.

## **PEDOMAN UMUM**

### **DALAM MENGGUNAKAN SISTEM SERVO ED-4400**

Panduan berikut ini, secara umum untuk semua eksperimen dalam jobsheet ini. Praktikan harus menyadari petunjuk ini, sebelum menyiapkan trainer ED-4400 untuk eksperimen yang sebenarnya.

1. Ketika modul ditempatkan pada panel untuk percobaan, tidak ada lokasi spesifik untuk setiap modul. Modul ditempatkan agar praktikan mudah melakukan pengamatan.
2. Ketika motor servo dan potensiometer (U-158) harus dihubungkan bersama, pastikan itu dilakukan dengan benar. Jika tidak, motor akan mengalami beban yang tidak diinginkan. Buat sambungan ke poros kecepatan rendah (1/60) dari kecepatan motor. Poros kecepatan tinggi motor servo dengan menyesuaikan rem elektronik adalah nol.
3. Generator tacho secara mekanis digabungkan ke motor servo. Ini menghasilkan tegangan AC dan output frekuensi yang sebanding dengan RPM motor. Unit Tacho Amp (U-155)

mengubah frekuensi menjadi tegangan ekuivalen melalui konverter F/V (frekuensi ke tegangan). Tegangan yang dikonversi digunakan sebagai sinyal umpan balik.

4. Ketika indikator "OVERLOAD" dari Unit Catu Daya (U-156) menyala, itu berarti ada arus berlebih yang mengalir di sirkuit. Matikan daya segera, dan periksa penyebab kelebihan beban.
5. Selama percobaan dalam manual ini, kecepatan putar dinyatakan dalam volt, yang sebanding dengan kecepatan.
6. Untuk menampilkan respons sistem dengan cara mudah, Generator Fungsi U-162 menghasilkan sinyal ramp yang berada sefase dengan keluaran. Oleh karena itu, referensi waktu internal dari osiloskop tidak diperlukan.
7. Catu daya  $\pm 15V$  dihilangkan dari diagram pengkabelan.

deskripsi fungsional dari setiap modul:

U-151 Dual attenuator (0, 9/10 ... 1/10 redaman)

U-152 Summing amplifier (gain: 0 dB, EXT, NET)

U-153 Pre-amplifier (gain: 20 dB)

U-154 Penguat driver motor (10 watt)

U-155 Unit Tacho Amp

U-156 Catu daya DC (15v 0.2A dan Daya Motor)

U-157 Potensiometer (Referensi) (1kOhm atau 10kOhm 5W)

U-158 Potensiometer (Motor Coupling) 1kOhm atau 10kOhm 5W)

U-159 Tachometer (FS 400 RPM)

U-161 Motor Servo (Motor 12V 45W, Tacho Generator Perkiraan 3Vpp / 4000RPM)

U-162 Generator Fungsi (output 0,1Hz, 1Hz, 10Hz, dan Ramp)

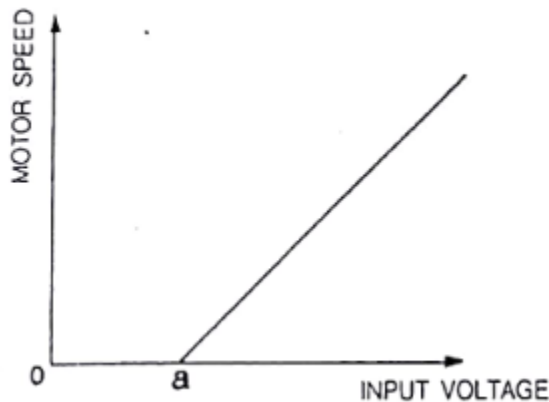
U-163 Magnet Brake (celah udara: 4mm, 10 variabel langkah, daya input: AC 220V, 50-60Hz)

# PERCOBAAN 1

## KARAKTERISTIK KECEPATAN MOTOR DAN MASUKAN

### 1. Teori Dasar

Secara umum motor adalah mesin yang mengubah energi listrik menjadi putaran mekanis. Unsur-unsur kunci dari motor DC adalah gulungan medan dan gulungan armatur. Ketika arus listrik mengalir melalui gulungan, torsi dibangkitkan di antara dua gulungan tersebut. Dalam sistem trainer ED-4400, gulungan medan diganti dengan magnet permanen. Magnet permanen menyediakan garis fluks magnet konstan dan oleh karena itu, kecepatan motor hanya berfungsi dari tegangan yang diterapkan pada lilitan armatur. Hubungan ini ditunjukkan pada Gambar 1-1.

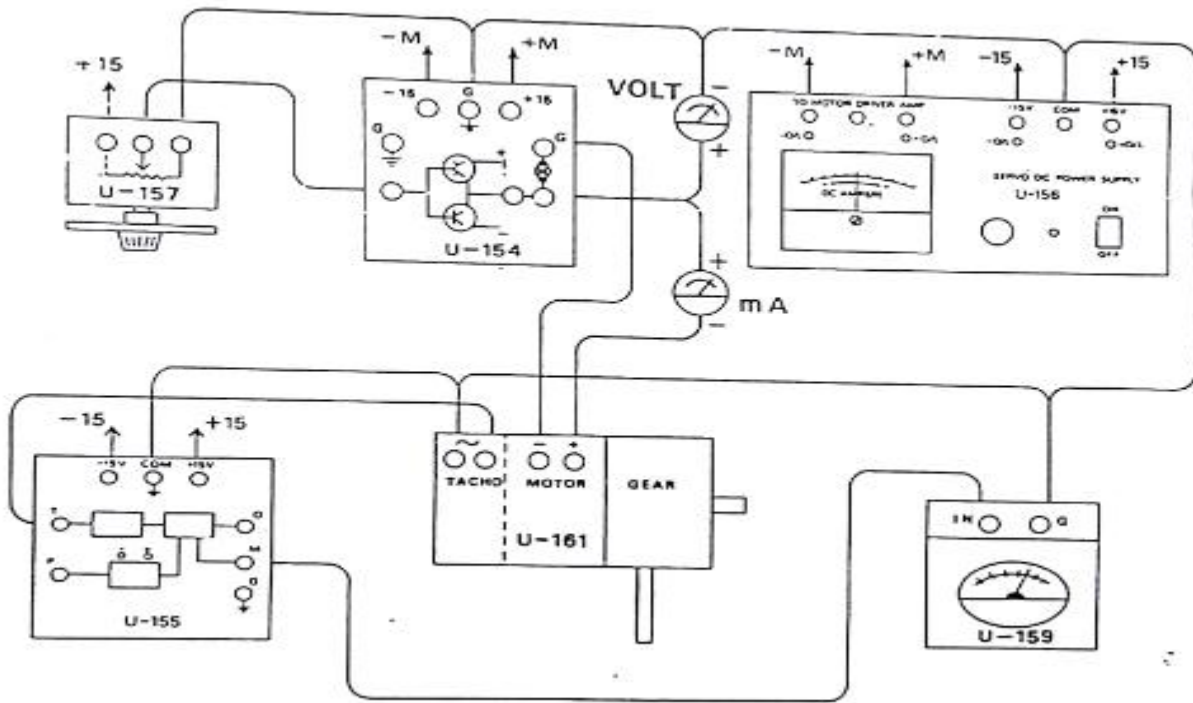


Gambar 1-1 Kecepatan Motor sebagai Fungsi Tegangan Masukan

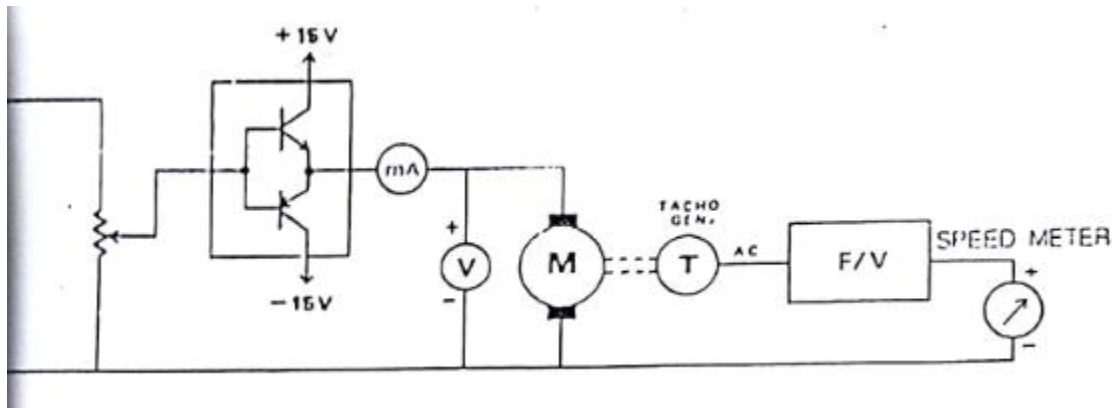
Pada Gambar 1-1, titik "a" terjadi karena motor memerlukan tegangan minimum tertentu untuk mengatasi gesekan mekanis dari sikat, bantalan, dan bagian bergerak lainnya sebelum mulai bergerak. Setelah tegangan input melebihi tegangan minimum, kecepatan motor mulai meningkat dalam karakteristik linear tidak dipertahankan di luar titik jenuh. Hal ini karena besarnya kekuatan elektromotif dalam kumparan angker juga meningkat ketika tegangan input meningkat, datar pada beberapa titik, peningkatan tegangan input lebih lanjut tidak menghasilkan peningkatan arus listrik dalam kumparan.

Motor dalam sistem ED-4400 digerakkan oleh U-154 Driver Motor Amplifier dengan U-151 Attenuator sebagai kontrol tegangan. Deteksi kecepatan motor dicapai dengan mengubah output Tacho motor (U-161) melalui konverter F/V (U-155). Output yang dikonversi ditunjukkan

pada Tacho meter U-159. Output AC dari motor Tacho diubah menjadi DC yang sebanding dengan kecepatan motor melalui U-155.



Gambar 1-2 Diagram Pengawatan Percobaan 1



Gambar 1-3 Diagram Sistem Ekuivalen dari Eksperimen 1

## 2. Prosedur Percobaan

Mengacu pada Gambar 1-2 dan 1-3, tempatkan modul yang diperlukan dalam percobaan pada permukaan yang datar atau di atas penutup ED-4400, dan hubungkan modul seperti yang ditunjukkan pada gambar.

1. Hubungkan Tacho-meter U-159 melintasi U-155 meter dan GND.
2. Atur sudut pada U-157 hingga 180 derajat.
3. Pastikan tegangan saluran sudah benar (100V atau 200V). Colokkan kabel saluran U-156 ke stopkontak listrik, dan hidupkan saklar daya.
4. Putar U-157 perlahan-lahan berlawanan arah jarum jam sampai motor mulai bergerak. Catat posisi U-157 dan tegangan input.
5. Tingkatkan tegangan input dengan perlahan memutar arah jarum jam U-157. Untuk setiap kenaikan voltase volt tegangan input (1V, 2V, 3V, ...), catat indikasi U-159
6. Buat grafik pada tegangan input versus kecepatan motor menggunakan data pengukuran di atas.

(Perhatian) Ketika motor jenuh, meningkatkan tegangan input tidak akan meningkatkan kecepatan motor. Hindari kejenuhan dalam eksperimen ini.

7. Buat grafik pada kecepatan motor versus arus motor menggunakan data yang diperoleh pada langkah 5 dan 6. Tinjau hubungan antara dua parameter ini.
8. Ulangi langkah 5-6 beberapa kali untuk mengurangi kesalahan pengukuran.

### **3. Ringkasan**

- Sebuah. Kecepatan motor dalam sistem servo sebanding dengan tegangan input.
- Arus motor tidak berbanding lurus dengan tegangan input. Pada saturasi, arus input motor tidak lagi meningkat bahkan jika tegangan input dinaikkan. Efek saturasi disebabkan oleh gaya penghitung elektromotif dalam kumparan armature.
- Ada deadband "rentang tegangan input dalam motor, di bawah mana motor tidak dapat memulai tegangan input motor diperlukan untuk menjadi lebih besar dari nilai terbesar dari deadband untuk memulai gerakan. Deadband ini disebabkan oleh berbagai motor mekanis di sistem.

## PERCOBAAN 2

### KECEPATAN MOTOR DAN KARAKTERISTIK BEBAN

#### 1. Teori Dasar

Nilai keluaran khas dari motor DC magnet permanen berkisar dari beberapa Watt hingga beberapa ratus Watt, dan jenis motor ini menunjukkan efisiensi daya yang sangat baik. Seperti telah disebutkan sebelumnya, magnet permanen di motor menyediakan fluks magnet konstan ( $K\phi$ ). Oleh karena itu, torsi ( $T$ ) yang dihasilkan dalam motor menjadi fungsi hanya arus input ( $Ia$ ). Juga, penghitung emf (gaya gerak listrik) dari motor ( $Ea$ ) dihasilkan oleh aksi konduktor angker yang memotong garis-garis gaya, dan sebanding dengan kecepatan motor ( $Wm$ ). Hubungan ini dinyatakan dalam rumus berikut.

$$K\phi = \text{konstanta} \quad (2-1)$$

$$Ea = K \phi Wm \quad (2-2)$$

$$T = K \phi Ia \quad (2-3)$$

dimana,

$K \phi$  = fluks magnetik (garis gaya) dari magnet permanen

$Ea$  = ggl dalam volt

$Wm$  = kecepatan motor dalam rad/detik

$T$  = torsi dalam N.m

$Ia$  = arus masukan dalam Ampere

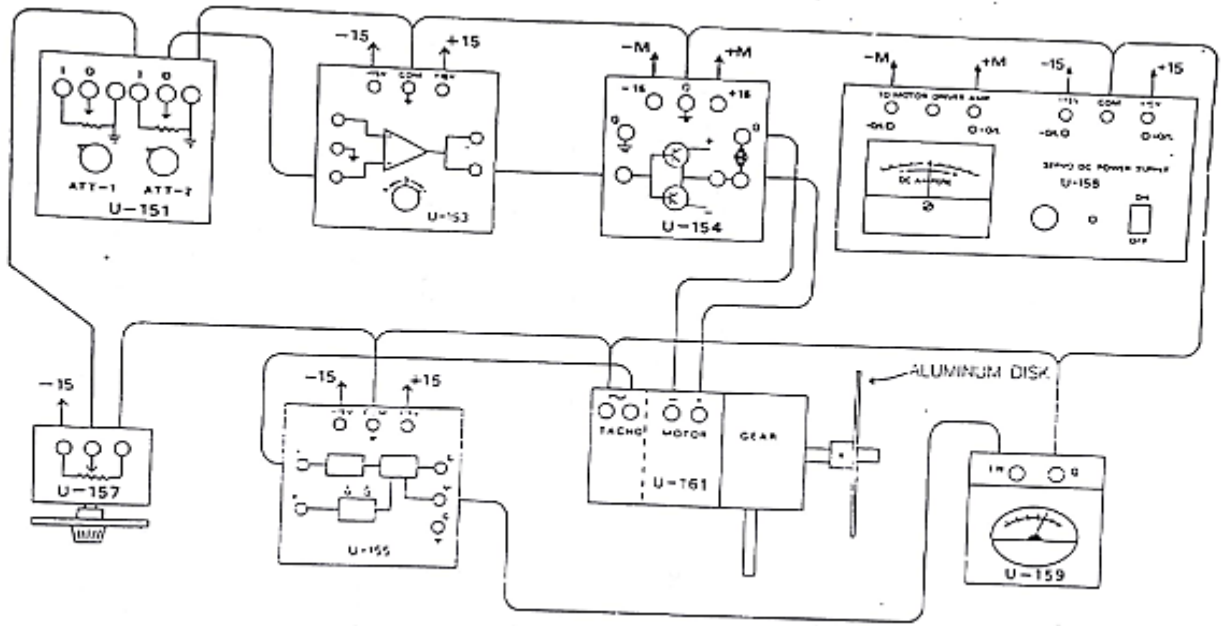
Tegangan input dan kecepatan motor terkait dengan parameter lain sesuai dengan persamaan berikut:

$$Vt = Ea + Ra Ia \quad (2-4)$$

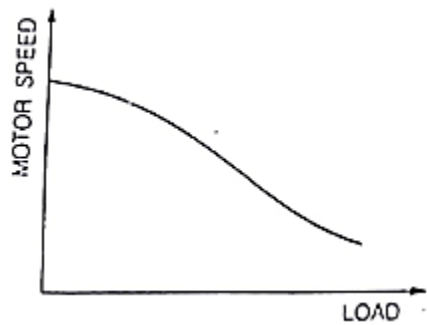
$$Wm = \frac{Vt}{K \phi} - \frac{Ra T}{(K \phi)^2} \quad (2-5)$$

di mana  $Vt$  = input voltase dalam volt,  $Ra$  = Tahanan koil armatur dalam Ohm. Perlu dicatat bahwa arus input meningkat ketika beban mekanik motor meningkat, sehingga meningkatkan daya. Juga, besarnya emf menjaga kecepatan motor konstan ketika motor tidak dibebani. Hubungan antara kecepatan dan beban motor diilustrasikan pada Gambar 2-2.

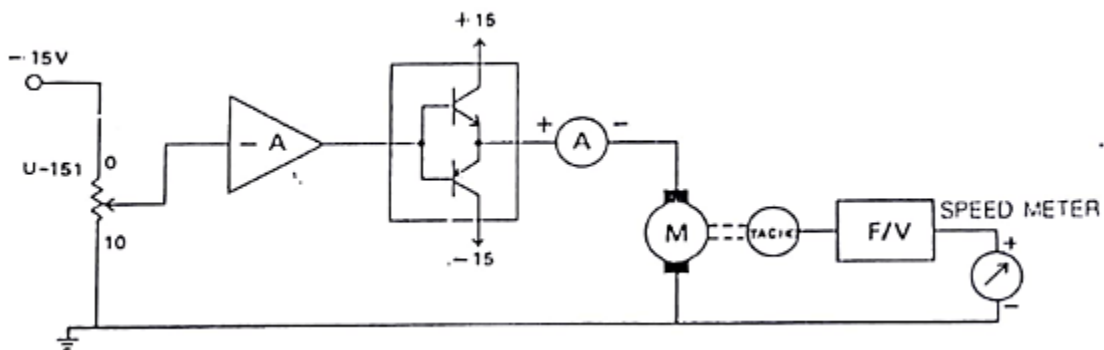




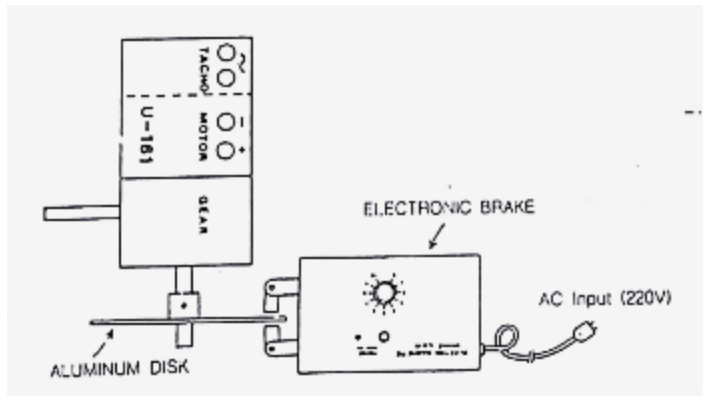
Gambar 2-1 Diagram Pengawatan Eksperimen 2



Gambar 2-2 Hubungan Antara Kecepatan dan Beban Motor



Gambar 2-3 Diagram Sistem Ekuivalen dari Eksperimen 2



Gambar 2-4 Pemasangan Electronic Brake (Rem Listrik)

## 2. Prosedur Percobaan

1. Mengacu pada Gambar 2-1 dan 2-3 menata modul dan menghubungkannya bersama.
2. Atur attenuator U-151 ke "8", dan hidupkan saklar daya dari U-156. Sesuaikan U-157 untuk mendapatkan kecepatan maksimum pada U-159 tanpa saturasi.
3. Pasang cakram aluminium ke poros kecepatan tinggi U-161 seperti ditunjukkan pada Gambar 2-4. Naikkan pengaturan rem listrik pada U-163 dari 0 hingga 10 dengan satu langkah setiap kali, dan tekan tombol dan ukur RPM pada U-159. Lihat juga Langkah 5.
4. Ulangi pengukuran pada Langkah 3 dengan memulai dari 10, dan bergerak ke arah 0. Lihat juga Langkah 5.
5. Pada Langkah 3 dan 4, catat pembacaan arus motor yang sesuai seperti yang ditunjukkan pada modul Power Supply U-156. Ini adalah arus yang mengalir antara U-154 (Driver Motor Amp) dan U-161 (Motor).
6. Plot titik data yang diperoleh pada Langkah 3 dan 4, menunjukkan hubungan antara pengaturan rem dan kecepatan motor dan arus motor.

## 3. Ringkasan

- Saat motor dibebani, kecepatan motor menurun, dan arus input bertambah.
- Overloading motor menyebabkan arus berlebih pada koil motor, dan dapat mengakibatkan kerusakan pada motor akibat panas yang dihasilkan oleh tegangan motor dan arus motor.

## PERCOBAAN 3

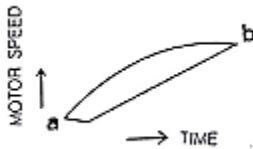
### RESPONS TRANSIEN DARI MOTOR

#### 1. Teori Dasar

Percobaan sebelumnya mendefinisikan karakteristik motor yang stabil. Karena adanya parameter tidak-ideal pada motor yang sebenarnya, motor tidak dapat merespon secara instan ke masukan langkah. Sebaliknya, sebuah motor merespon dalam peningkatan kecepatan yang eksponensial. Ketika masukan dihapus, kecepatan motor menurun secara linear ke nol. Hubungan tersebut diilustrasikan pada Gambar 3-1 dan 3-2. Jelas bahwa inersia dalam motor mempengaruhi tingkat perlambatan dalam respon. Ketika beban inersia, seperti flywheel, ditambahkan ke poros berputar, respon motor sangat lambat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3-2.

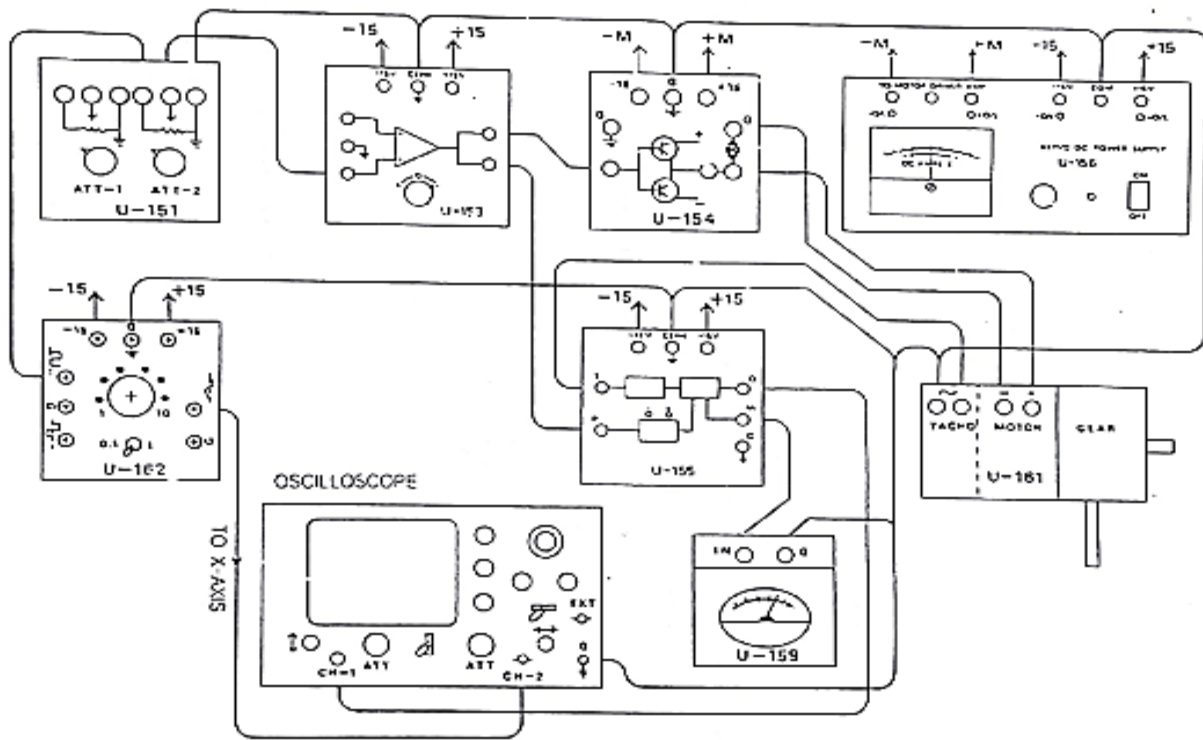


Gambar 3-1 Kecepatan Motor terhadap Waktu (Inersia Kecil)

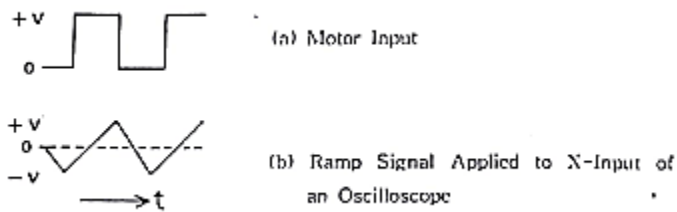


Gambar 3-2 Kecepatan Motor terhadap Waktu (Large Inertia)

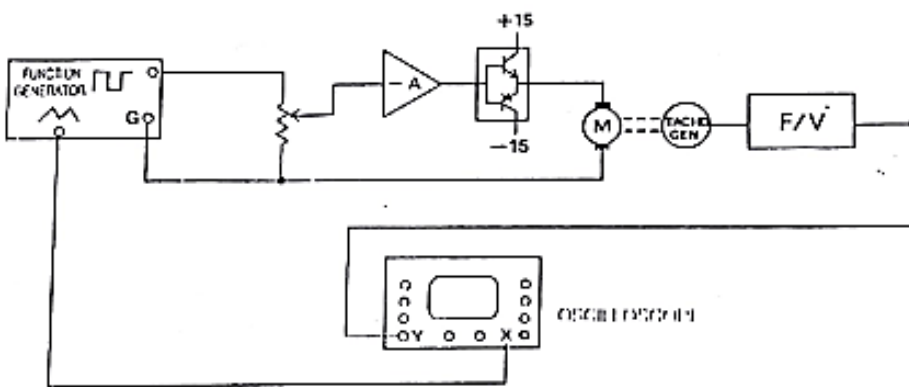
Angka-angka ini diperoleh dari osiloskop dengan input motor dan sinyal waktu horisontal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3-4 yang diterapkan pada osiloskop. Titik "a" dalam Gambar 3-1 dan 3-2 menunjukkan di mana motor mulai bergerak. Titik "b" adalah tempat input motor dihapus, dan kecepatan motor mulai turun.



Gambar 3-3 Diagram Pengawatan Percobaan 3



Gambar 3-4 Masukan Motor dan Sinyal Kontrol



Gambar 3-5 Diagram Sistem Percobaan 3

## **2. Prosedur Percobaan**

1. Mengacu pada Gambar 3-3 dan 3-5, menata modul dan osiloskop dan menghubungkannya bersama.
2. Atur osiloskop untuk mode X-Y. Gunakan sinyal keluaran Ramp U-162 ke X-input osiloskop.
3. Atur frekuensi Generator Fungsi (U-162) menjadi 0,1 Hz.
4. Hidupkan Catu daya U-156.
5. Atur penguatan dari input-X (CH2) dari osiloskop untuk tampilan yang tepat di layar.
6. Atur U-151 untuk mengatur kecepatan motor yang ditunjukkan pada U-159 di bawah saturasi. Jika perlu, gunakan U-157 daripada U-151.
7. Sesuaikan penguatan input-Y (CH1) dari osiloskop untuk tampilan yang tepat di layar.
8. Perhatikan sinyal pada osiloskop.
9. Matikan daya (U-156). Pasang flywheel ke poros kecepatan tinggi di U-161. Hidupkan daya, dan amati sinyal pada osiloskop.
10. Pindahkan flywheel ke poros kecepatan rendah U-161, dan ulangi eksperimen di atas.
11. Plot data yang diperoleh.

## **3. Ringkasan**

- Tidak seperti motor yang ideal, motor asli merespon input langkah dengan peningkatan kecepatan eksponetial.
- Intertia rotasi di motor mempengaruhi respon transien motor. Semakin besar inersia, semakin buruk responnya.

## PERCOBAAN 4

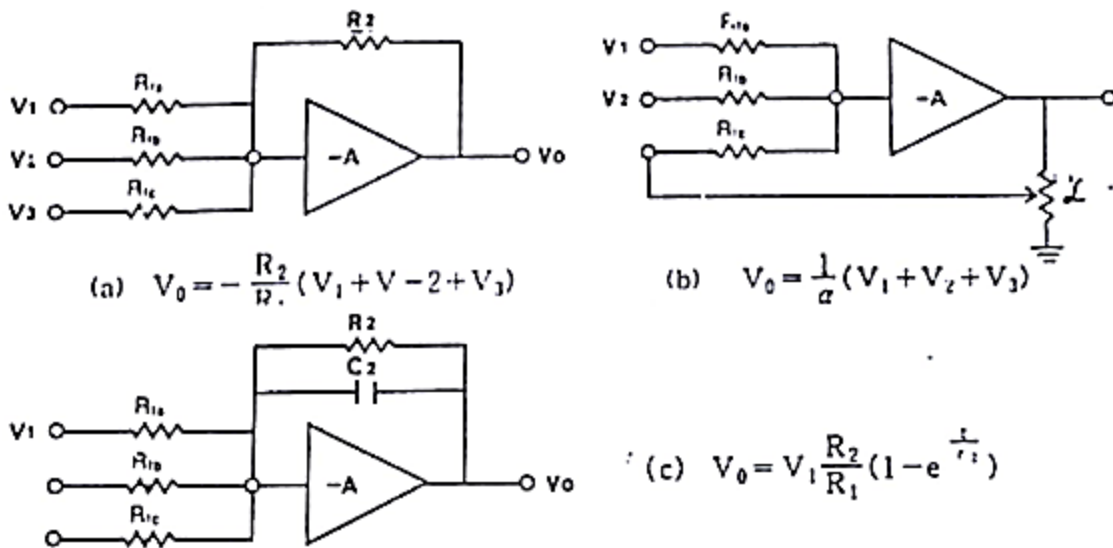
### PENGUAT OPERASIONAL

#### 1. Teori Dasar

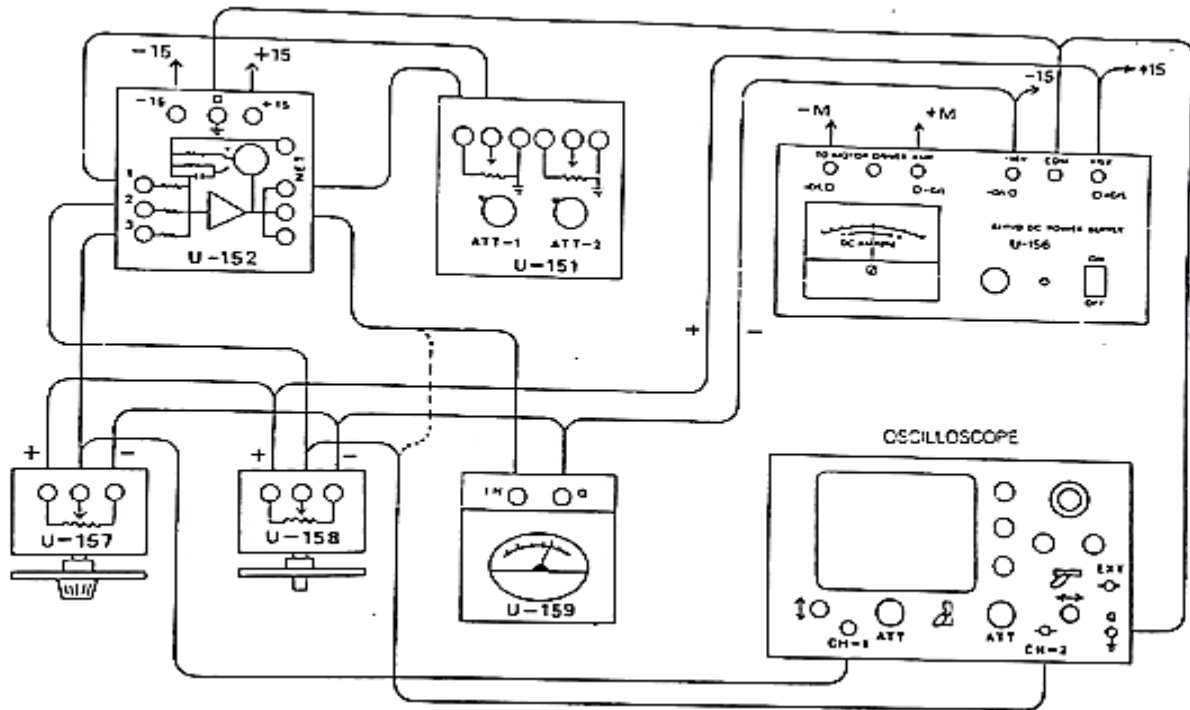
Sistem servo loop tertutup membutuhkan informasi mengenai seberapa banyak kecepatan keluaran motor berbeda dari masukan yang telah ditetapkan. Perbedaan yang terdeteksi dikembalikan ke pengontrol sistem sebagai sinyal kesalahan/error. Setelah jumlah kesalahan/error terdefinisi, loop tertutup bereaksi dengan cara mengurangi kesalahan/error, dan loop mengulangi proses sampai kesalahan/error terdeteksi menjadi nol. Deteksi kesalahan/error dilakukan dengan membandingkan masukan dan keluaran sampel tegangan menggunakan penguat operasional.

Elemen-elemen kunci dari rangkaian penguat operasional adalah resistor dan gain penguat itu sendiri yang biasanya dalam kisaran 1000 hingga 100.000. Beberapa rangkaian Op-Amp yang menggunakan Unit Penguat U-152 diperlihatkan pada Gambar 4-1. Karena gain penguat "A" sangat besar, output penguat diberikan oleh persamaan berikut

$$V_0 = \frac{-R_2}{R_1} (V_1 + V_2 + V_3) \quad (4-1)$$



Gambar 4-1 Contoh Aplikasi Penguat Operasional

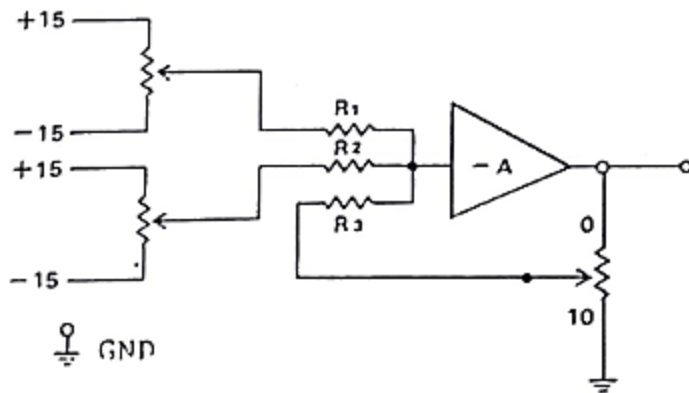


Gambar 4-2 Wiring Diagram Percobaan 4

Dalam persamaan (4-1), dapat dilihat bahwa ketika  $R_1 = R_2$ , output  $V_o$  menjadi jumlah input. Juga ketika jaringan divider tegangan digunakan seperti pada Gambar 4-1 (b),  $V_o$  dapat dipilih ke bawah oleh faktor  $-1/a$  dengan yang mewakili rasio antara ketahanan yang dibagi ke seluruh hambatan dari jaringan divider. Ketika kapasitor ditempatkan di jalur umpan balik secara paralel dengan resistor, seperti pada Gambar 4-1 (c), respons output ke input langkah dipengaruhi oleh konstanta waktu dari jaringan RC. Dalam hal ini, output  $V_o$  diperoleh dari:

$$V_o = -V_1 \frac{R_2}{R_1} (1 - e^{-\frac{t}{\tau_2}}) \quad \text{dimana } \tau_2 = C_2 R_2 \quad (4-2)$$

Ekspresi  $V_o$  di atas mengasumsikan bahwa  $V_o$  tidak melebihi tegangan suplai 12V. Dalam U-152, pengaturan saklar pemilih ke "a" akan mengkonfigurasi penguat ke Gambar 4-1 (a) dengan  $R_1 = R_2$ . Ketika pemilih diatur ke "b", penguat akan dikonfigurasi untuk Gambar 4-1 (c) dengan  $R_1 = R_2$ , dan  $CR_2 = 0,1$  detik. Dalam percobaan ini, hanya rangkaian Gambar 4-1 (b) yang digunakan



Gambar 4-3 Diagram Sirkuit Ekuivalen Eksperimen 4

## 2. Prosedur Percobaan

1. Mengacu pada Gambar 4-2 dan 4-3, menata modul yang diperlukan dan menghubungkannya bersama.
2. Atur saklar pemilih Summing Amp U-152 ke "EXT".
3. Nyalakan power U-156.
4. Menggunakan impedansi input yang tinggi (1 MOhm atau lebih besar) voltmeter atau osiloskop mengukur tegangan pada terminal U-157 dan U-158 (sisi geser). Sesuaikan tegangan ke 0.
5. Atur U-151 menjadi 0.
6. Ukur keluaran dari U-152 menggunakan voltmeter impedansi masukan tinggi. Pastikan keluaran hampir 0 (sekitar 0.01V).
7. Sesuaikan sedemikian rupa sehingga keluaran pada U-157 dan U-158 masing-masing + 1V.
8. Ukur tegangan keluaran U-152, dan amati hubungan ke masukan.
9. Atur U-151 menjadi "5", dan ukur keluaran U-152.
10. Atur U-151 menjadi "0". Variasikan output U-157 dan U-158. Periksa keluaran Summing muncul di U-152.
11. Amati bagaimana posisi U-151 mempengaruhi hubungan masukan dan keluaran. Ketika polaritas keluaran berubah menjadi. Periksa nilai keluaran Summing.
12. Perhatikan bahwa ketika U-151 diatur ke "0",  $R1a = R2$  dan gain menjadi satu (satu). Ketika U-151 diatur ke "10", gain maksimum karena R2 dimaksimalkan.



### **3. Ringkasan**

- Penguat operasional adalah penguat linear. keluaran sebanding dengan masukan, dan berbanding terbalik dengan umpan balik negatif.
- Penguat operasional digunakan dalam rangkaian deteksi kesalahan/error di mana lebih dari dua sinyal dibandingkan dan dijumlahkan bersama. Impedansi masukan yang tinggi dari penguat operasional menghasilkan kehilangan sinyal yang dapat diabaikan. keluaran penjumlahan mencakup polaritas sinyal masukan.

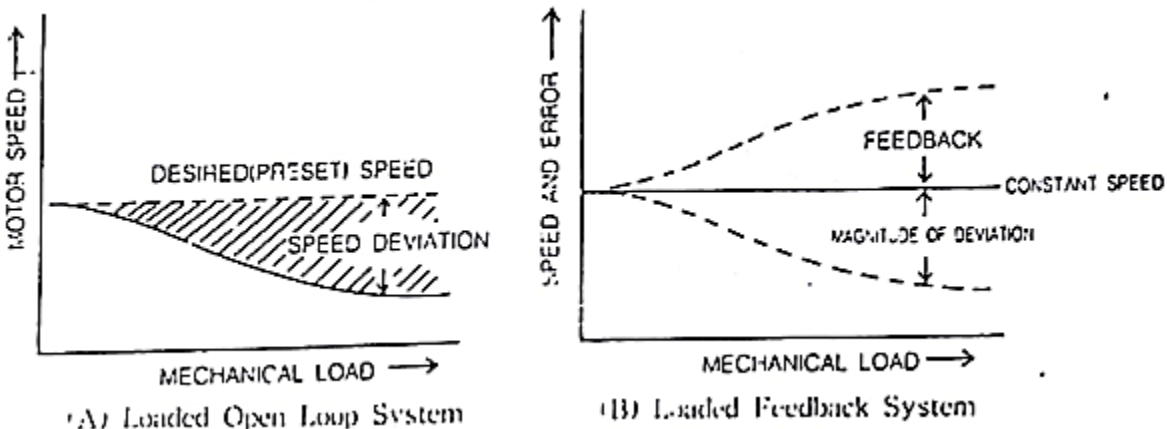
## PERCOBAAN 5

### TEKNIK KONTROL KECEPATAN MOTOR LOOP TERTUTUP

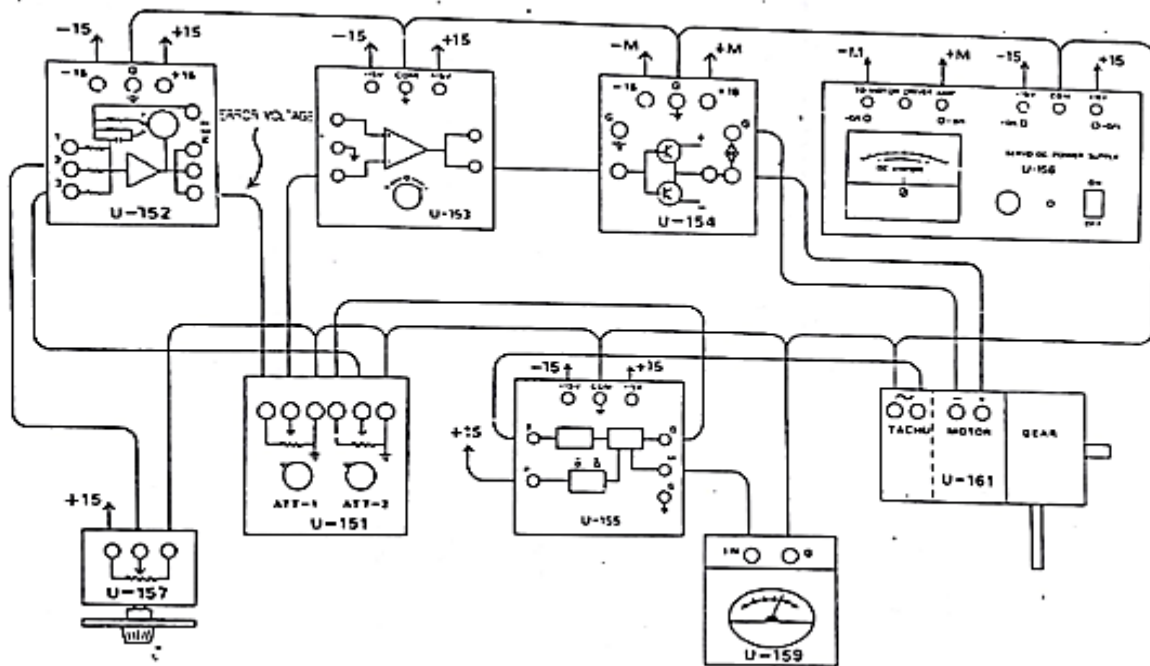
#### 1. Teori Dasar

Cukup sering, ketika motor digunakan sebagai sumber kekuatan mekanik, motor diharuskan untuk menyediakan kecepatan konstan terlepas dari perubahan beban. Sistem kontrol kecepatan loop tertutup adalah sistem yang mengatur sendiri di mana kecepatan motor yang diukur dibandingkan dengan nilai preset untuk menghasilkan Keluaran kesalahan/error. Tegangan kesalahan/error terdeteksi kemudian diperkuat dan umpan balik ke rangkaian kontrol untuk mengkompensasi perbedaan antara kecepatan aktual dan preset. Proses koreksi sendiri ini berlanjut sampai tegangan kesalahan/error yang terdeteksi menjadi nol. Pada titik ini, kecepatan sebenarnya motor sama dengan kecepatan preset, dan motor mempertahankan kecepatan konstan. Dibandingkan dengan sistem loop tertutup, sistem yang dibangun pada percobaan sebelumnya diidentifikasi sebagai sistem loop terbuka.

Perbedaan konseptual antara loop terbuka dan sistem loop tertutup secara grafis diilustrasikan pada Gambar 5-1.



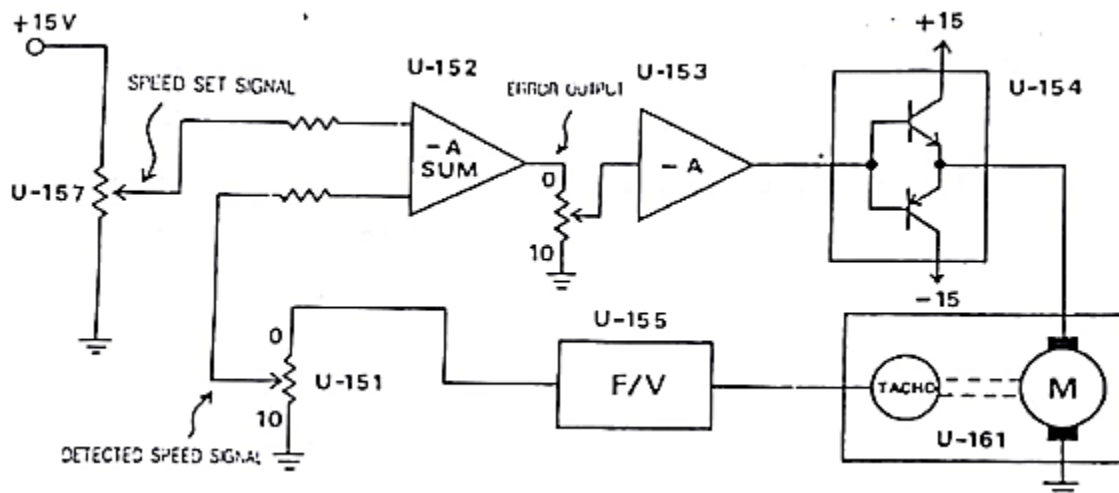
Gambar 5-1 Motor Load terhadap Karakteristik Kecepatan.



Gambar 5-2 Diagram Pengawatan Percobaan 5

Pada Gambar 5-1, jelas bahwa sistem dengan umpan balik jauh lebih unggul daripada sistem loop terbuka dalam mempertahankan kecepatan konstan terhadap variasi beban.

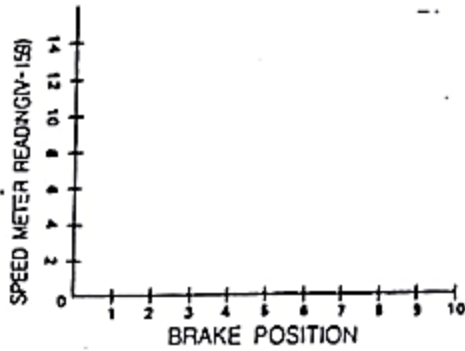
Dalam sistem loop tertutup, yang terpenting bahwa sinyal kesalahan diperkuat ke tingkat yang tepat untuk menghilangkan efek "deadband". Untuk alasan ini, sinyal kesalahan diamplifikasi sebelum tiba pada masukan dari Servo Driver (U-154). Juga sangat penting bahwa sinyal umpan balik 180 derajat keluar dari fase ke sinyal referensi untuk mempertahankan kontrol yang tepat.



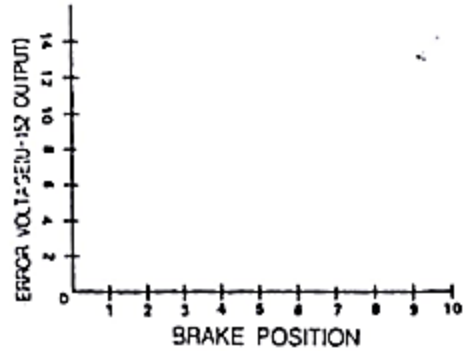
Gambar 5-3 Diagram Sistem Ekuivalen dari Eksperimen 5

## 2. Prosedur Percobaan

1. Mengacu pada Gambar 5-2 dan 5-3, menata modul yang diperlukan dan menghubungkannya bersama.
2. Atur saklar pemilih Summing Amp U-152 ke "a".
3. Atur ATT-2 dari U-151 ke "10" untuk mencegah Tacho keluar dari masukan sistem. Atur ATT-1 ke "5".
4. Nyalakan U-156.
5. Sesuaikan U-157 untuk mendapatkan sekitar setengah kecepatan maksimum. Ini sama dengan pengaturan untuk 2500 RPM pada U-159.
6. Pasang rem elektronik U-163 seperti yang dilakukan pada Gambar 2-4. Dengan pengaturan rem meningkat satu tingkat pada satu waktu, catat pembacaan RPM pada setiap pengaturan.
7. Ukur tegangan kesalahan pada setiap pengaturan rem.  
[note] Tidak ada sinyal umpan balik pada saat ini. Oleh karena itu, tegangan kesalahan hanya akan bervariasi ketika kecepatan preset diubah ke nilai yang berbeda.
8. Atur ATT-2 dari U-151 ke "5". Sesuaikan U-157 untuk mendapatkan kecepatan yang sama seperti pada Langkah 5 (sekitar 2500 RPM).
9. Ukur keluaran Tacho dan tegangan kesalahan pada titik rem yang berbeda. Plot titik data pada grafik yang disediakan pada Gambar 5-4.
10. Ubah pengaturan ATT-2 ke "0". Sesuaikan U-157 untuk mendapatkan 2500 RPM.
11. Ukur kecepatan dan kesalahan tegangan pada setiap pengaturan rem, dan plot data pada grafik.
12. Bandingkan hasil antara Langkah 3-7 dan Langkah 8-11. Perhatikan bahwa loop tertutup untuk Langkah 8 hingga 11.



(a) Speed Vs. Brake Setting



(b) Error Voltage Vs. Brake Setting

Notes: ————— Results from Steps 3-7  
 ..... Results from Steps 8-9

Gambar 5-4 Kecepatan dan Tegangan Kesalahan versus Pengaturan Brake

### 3. Ringkasan

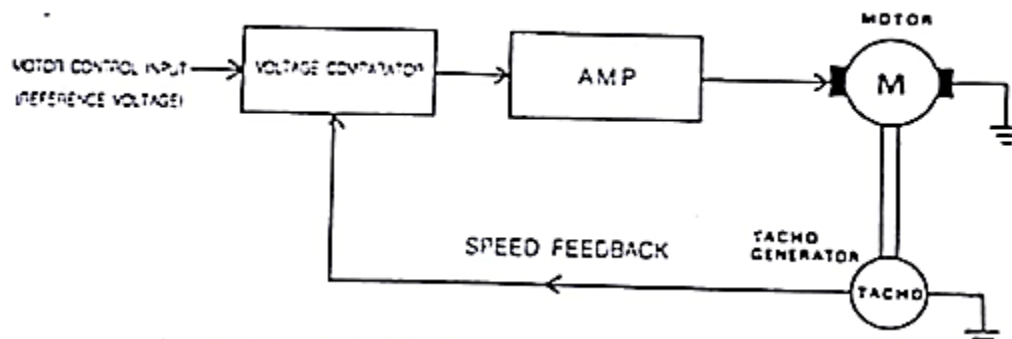
- Dalam sistem loop tertutup, pengurangan kecepatan motor karena beban dikompensasi, dalam batas oleh sinyal kesalahan yang sebanding dengan kecepatan drift dan 180 derajat keluaran dari fase ke pengaturan referensi.
- Sinyal umpan balik yang berlebihan akan mengurangi pengaturan referensi. Oleh karena itu, sinyal umpan balik pada masukan dari summing amp tidak boleh lebih besar dari sinyal referensi. Sinyal umpan balik harus disesuaikan ke tingkat yang tepat untuk beban yang diberikan dan penguatan penguat.

## PERCOBAAN 6

### PENGUATAN SISTEM DAN KONTROL KECEPATAN MOTOR

#### 1. Teori Dasar

Diagram yang disederhanakan dari sistem kontrol kecepatan motor konstan loop tertutup ditunjukkan pada Gambar 6-1. Ketika tegangan referensi atau kontrol diterapkan pada masukan komparator, dan generator Tacho menghasilkan sinyal yang setara dengan kecepatan motor, kedua sinyal tersebut dibandingkan pada masukan dari penguat penjumlah melalui penambahan dua sinyal dengan polaritas berlawanan. Keluaran dari komparator adalah, sebuah sinyal kesalahan yang merepresentasikan perbedaan antara preset dan kecepatan aktual. Karena sinyal kesalahan keluaran dari fase ke sinyal referensi, sinyal ini mengkompensasi kecepatan motor ke arah untuk mencapai kecepatan konstan.



Gambar 6-1 Sistem Umpan Balik Kecepatan Konstan Kecepatan

Secara umum, kecepatan satu meter sinyal kesalahan memiliki hubungan berikut.

$$\theta_n = K E \quad (6-1)$$

Dimana

$\theta_n$  = kecepatan motor

$E$  = Sinyal kesalahan/error

$K$  = penguatan sistem

Sinyal kesalahan/error didefinisikan sebagai:

$$E = V_{ref} - K_g \theta_0 \quad (6-2)$$

Dimana

$V_{ref}$  = tegangan referensi

$K_g \theta_0$  = keluaran generator Tacho

Substitusi E ke pers. (6-1) dengan pers. (6-2) diperoleh

$$\theta_0 = K(V_{ref} - K_g \theta_0) \quad (6-3)$$

$$\theta_0 = K V_{ref} - K K_g \theta_0$$

$$1 = \frac{K V_{ref}}{\theta_0} - K K_g$$

$$\frac{K V_{ref}}{\theta_0} = 1 + K K_g$$

$$\theta_0 = \frac{K V_{ref}}{1 + K K_g} \quad (6-4)$$

Jika K sangat besar dalam arah maju, Persamaan (6-4) dikurangi menjadi:

$$\theta_0 = \frac{V_{ref}}{K_g} \quad (6-5)$$

Dari persamaan (6-5), jelas bahwa untuk generator Tacho konstan  $K_g$ , kecepatan motor berbanding lurus dengan  $V_{ref}$  saja, dan tidak bergantung pada deviatin gain sistem. Ini adalah keuntungan yang paling menguntungkan dari sistem kontrol kecepatan motor loop tertutup.

Hubungan serupa dapat dikembangkan untuk sinyal kesalahan dalam sistem loop tertutup.

Mengganti dalam Persamaan (6-2) dengan Persamaan (6-1).

$$E = V_{ref} - K_g K E \quad (6-6)$$

$$1 = \frac{V_{ref}}{E} - K K_g$$

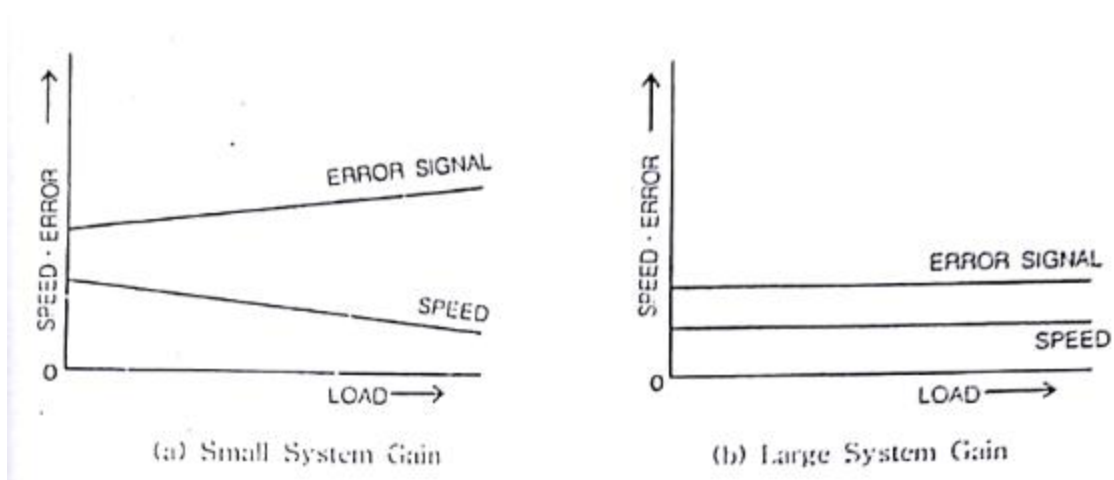
$$\frac{V_{ref}}{E} = 1 + K K_g$$

$$E = \frac{V_{ref}}{1 + K K_g} \quad (6-7)$$

Persamaan (6-7) menunjukkan bahwa tegangan kesalahan E dapat dikurangi ketika gain K meningkat.

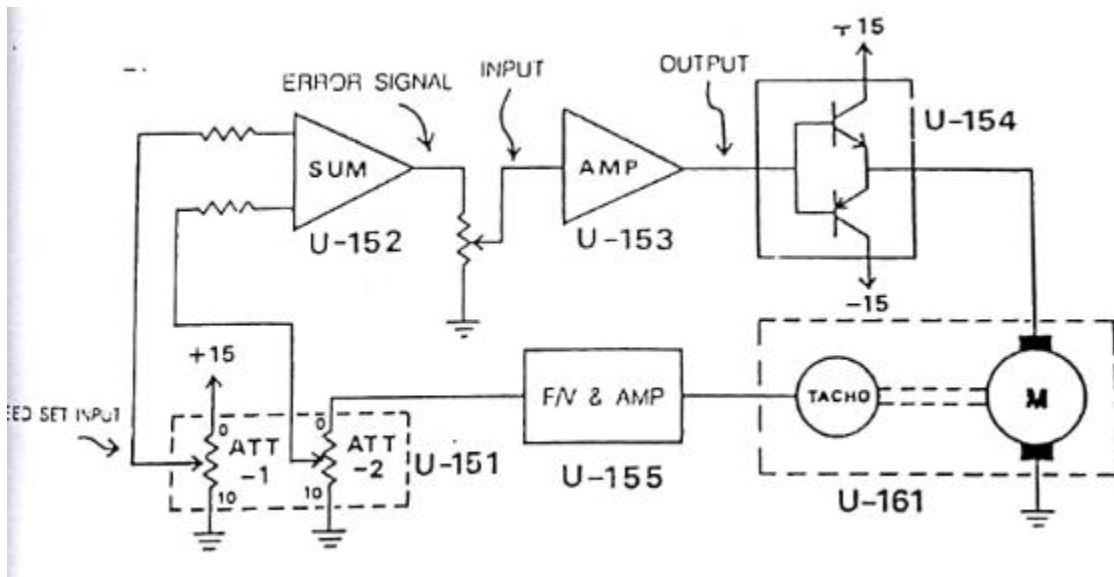
Dalam sistem praktis, mempertahankan gain sistem yang tinggi berarti mengurangi deadband, serta menurunkan kecepatan motor terhadap perubahan beban. Meskipun perolehan sistem besar diinginkan secara umum, keuntungan harus dibatasi pada tingkat yang dapat diterima. Ketika penguatan berada di luar tingkat yang dapat diterima, karakteristik sementara dari sistem akan menderita, dan itu akan menyebabkan rotasi motorik yang tidak teratur.

Hubungan antara beban, kesalahan dan kecepatan motor ditunjukkan pada Gambar 6-2 pada dua level penguatan sistem yang berbeda.



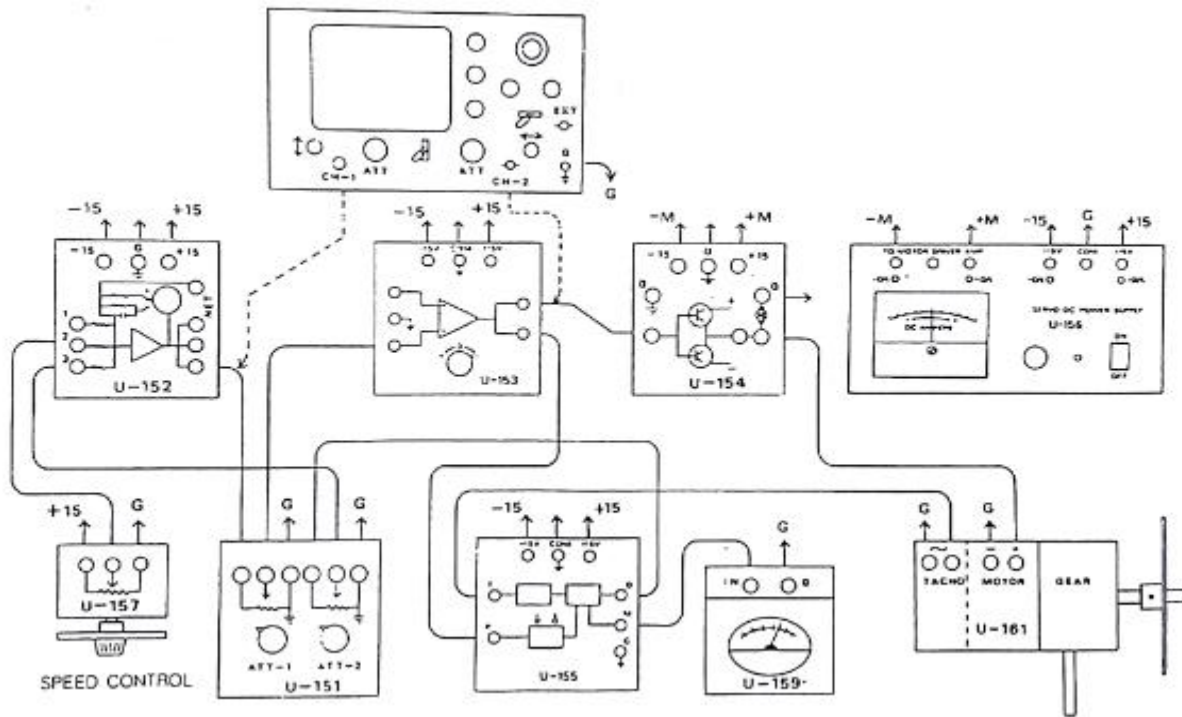
Gambar 6-2 Hubungan Antara Beban, Kesalahan dan Kecepatan Motor

Untuk diagram sistem yang setara dari Gambar 6-3, output dari Konverter frekuensi-ke-Tegangan U-155 harus cukup besar untuk menyediakan sinyal umpan balik yang cukup. Jika tidak, motor tidak akan berjalan dengan kecepatan konstan. Juga ketika gain amplifier U-153 rendah, respon sistem akan lambat dan efek "deadband" akan memburuk. Namun, jika gain terlalu tinggi, sistem akan menjadi tidak stabil.



Gambar 6-3 Diagram Sistem Setara Percobaan 6





Gambar 6-4 Diagram Pengawatan Percobaan 6

## 2. Prosedur Percobaan

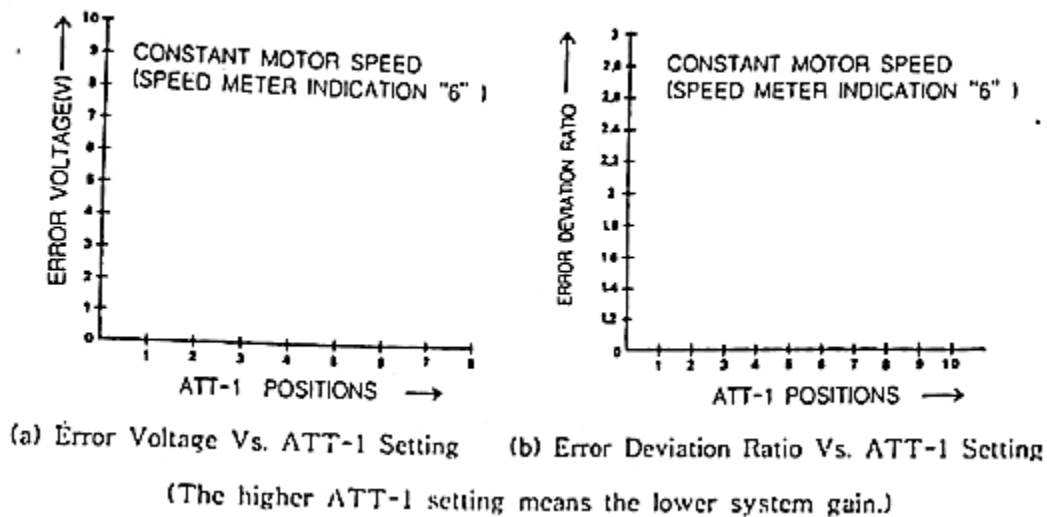
1. Mengacu pada Gambar 6-4, menata semua modul dan osiloskop dan menghubungkannya bersama.
2. Atur saklar pemilih U-152 ke "a".
3. Atur ATT-1 dari U-151 ke "9" dan ATT-2 ke "10". Ini akan meminimalkan pengaturan referensi, dan umpan balik akan hampir nol.
4. Nyalakan U-156. Sesuaikan U-157 hingga sekitar setengah dari kecepatan motor maksimum (2500 RPM).
5. Mengacu pada Gambar 2-4, pasang rem disk ke poros kecepatan tinggi motor servo, dan atur rem ke "0". Tingkatkan pengaturan rem dengan satu kenaikan, dan setiap kali kenaikan, tekan tombol rem dan ukur kecepatan motor dan sinyal kesalahan terkait.
6. Atur U-151 ATT-2 menjadi "5". Sesuaikan kecepatan motor menjadi 2500 RPM, dan ulangi Langkah 5. Plot data yang diperoleh pada Gambar 6-5 (a)

Catatan: Kecepatan motor yang sama dapat diperoleh dengan meningkatkan level sinyal referensi dan menurunkan gain amplifier. Namun, metode ini akan mengurangi jumlah sinyal kontrol umpan balik dan dengan demikian mengurangi kemampuan mengatasi semua sistem.

7. Menggunakan U-157, atur kecepatan motor ke 2500 RPM. Setel U-151 ATT-2 menjadi "5". Sesuaikan bentuk ATT-1 0 hingga 9, dan ukur tegangan kesalahan di setiap titik.
8. Untuk setiap titik pengaturan ATT-1, pegang poros motor berkecepatan tinggi dengan tangan dan ulangi percobaan pada Langkah 7. Hitung rasio deviasi kesalahan seperti yang didefinisikan oleh persamaan berikut, dan plot hasilnya pada Gambar 6-5 (b) )

catatan

Error Deviation Ratio = kesalahan diukur dengan motor macet / kesalahan diukur dengan motor berjalan



Gambar 6-5 Gain Sistem versus Karakteristik Tegangan Kesalahan

### 3. Ringkasan

- Dalam sistem servo loop tertutup, penguatan sistem yang lebih rendah menghasilkan tegangan kesalahan yang lebih besar, mengurangi kemampuan kontrol kecepatan motor konstan.
- Kecepatan motor konstan diperoleh ketika sinyal kecepatan motor yang terdeteksi sama dengan sinyal referensi preset. Saat motor mendekati operasi kecepatan konstan, besarnya

sinyal kesalahan menjadi sangat kecil. Oleh karena itu, penguatan penguat kesalahan harus besar.