Bab I

Dasar Pengaturan

I.1. Pendahuluan

Prinsip dasar dari pengaturan (Control) adalah mengatur atau mengendalikan suatu sistem secara automatis tanpa bantuan manusia secara langsung yaitu dengan menggantikan sistem manual dengan sistem automatis. Konsep automatis mula-mula muncul pada bidang industri yaitu sejak revolusi di Inggris di abad ke-18. Dalam era 200 tahun kemudian adalah sebagai berikut:

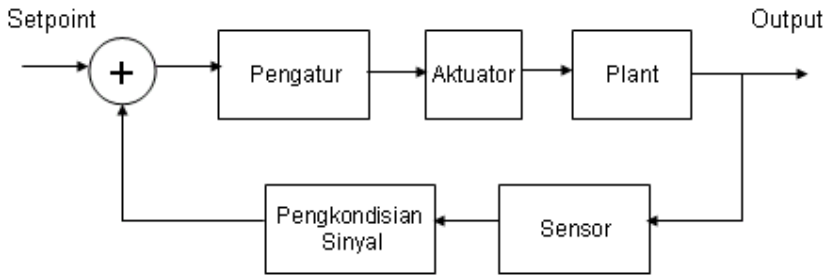
- Mekanisasi selama revolusi industri, 1770
- Henry Ford dalam pengembangan sistem automatis ketat, 1900
- Mesin dengan kontrol automatis seperti mesin fotokopi
- Mesin kalkulator, 1952
- Mikrochip computer, akhir 1960
- Mesin CNC (computer numerical controlled)
- Robot industri, 1970
- Jaringan computer, 1970
- Automasi penuh, Sistem manufaktur, 1990-an

Selain penggantikan fungsi manusia sistem pengaturan automatis memberikan kelebihan dalam meningkatkan akurasi, memperkuat kemampuan perulangan, mengurangi kegagalan sistem.

1.2. Terminologi Pengaturan

Manusia mulai berpikir untuk merancang suatu mekanisme pengendali yang dapat menggantikan fungsi manusia dalam menentukan parameter pengendali, target pengendalian (set point), dan melakukan pengukuran terhadap variabel yang dikendalikan. Tentunya semua parameter dan variabel yang ada di dalam sistem pengaturan harus dapat terukur dan dapat terhitung sehingga sistem yang diatur dapat memberikan kinerja yang diinginkan.

Sistem automatis biasanya berupa sebuah lup tertutup yaitu berupa diagram pengaturan yang menggambarkan proses dan aliran variabel. Bentuk sederhana dari diagram pengaturan dapat dilihat pada Gambar 1.1. dibawah ini.



Gambar 1.1. Diagram Pengaturan Automatis

Diagram pengaturan automatis ini memperlihatkan alur sinyal dimulai dari set point sebagai target pengaturan yang ditentukan oleh operator atau data pengaturan. Set point ini merupakan acuan bagi pengatur untuk secara automatis memaksa agar output dari sistem yang dikontrol yaitu plant, sama atau mendekati nilai set point ini. Sistem pengaturan dikatakan stabil jika nilai dari output mendekati set point ini atau berosilasi teredam pada set point.

Pengatur bisa berupa pengatur analog maupun pengatur digital. Pengatur analog berupa pengatur on/off dan pengatur PID (Proporsional Integrator Diffrensiator). Sedangkan pengatur digital bisa berupa sebuah mikrokontroller atau sebuah komputer yang berisikan algoritma-algoritma pengaturan yang

sesuai. Pengatur ini bisa melekat pada sistem (*embedded control system*) misalnya mempergunakan mikrokontroller atau bisa berupa pengaturan jarak jauh (*remote control system*) baik dengan kabel atau tanpa kabel. Sedangkan aktuator adalah penggerak yang digerakkan oleh sinyal yang dikirimkan pengatur. Aktuator ini berupa motor, kipas, katup, pompa, pematik api. Sedangkan sensor adalah suatu alat yang bisa mengubah besaran fisik seperti gaya, berat, kecepatan, energi elektromagnetik, tekanan, suara, cahaya, temperatur dan sebagainya menjadi sinyal yang dapat diukur dengan mudah misalnya besaran listrik. Jika sinyal dari sensor ini sangat lemah atau penuh dengan gangguan (noise) yang muncul dari keterbatasan sensor maka sinyal ini sebelum dilewatkan pada elemen selisih (difference element) perlu untuk diperbaiki oleh sebuah pengkondisian sinyal. Elemen selisih biasanya digambarkan dengan tanda penjumlahan atau sumasi yang berada di dalam lingkaran.

Berdasarkan sinyal yang dipergunakan dikenal sistem pengaturan pneumatik, hidraulik dan elektrik. Sistem pengaturan pneumatik mempergunakan uap air bertekanan tinggi (5-18 psig=pound squares inch gauge) sebagai sinyal pengatur sedangkan sistem hidraulik mempergunakan fluida dengan viskositas tinggi seperti oli atau minyak pelumas. Terakhir adalah sinyal elektrik yang mempergunakan sinyal berupa arus atau tegangan listrik sebagai pembawa informasi. Pemilihan jenis-jenis sinyal ini tergantung dari jenis sistem yang diaturnya (plant) misalnya untuk sistem yang berhubungan dengan bahan bakar misalnya sistem bak penampungan bahan bakar maka sangat berbahaya kalau ada lompatan atau percikan bunga listrik sehingga sinyal bersifat pneumatik dan hidraulik lebih aman dipakai.

Jenis-jenis komponen pengaturan disesuaikan dengan sinyal yang dipergunakan. Pada sistem pengaturan elektronika sinyal yang dibahas adalah sinyal listrik yaitu berupa arus listrik dan tegangan listrik searah (DC=direct current). Sehingga komponen-komponen yang dilibatkannya pun berupa komponen listrik atau elektronika. Misalnya elemen selisih yang dibuat dari sebuah rangkaian diffrensial amplifier dan pengontrol yang dibuat mempergunakan operational Amplifier untuk memberikan sifat proporsional, integral dan differensial.

1.3. Ilmu Yang Dikaji

Selain ilmu pengaturan beberapa disiplin ilmu yang terlibat pada pengaturan elektronika adalah ilmu elektronika, matematik dan fisika. Teori rangkaian listrik dan karakteristik komponen elektrik maupun elektronika perlu dikuasai benar-benar. Misalnya jika kita pilih sebuah sensor temperatur termokopel. Termokopel berupa dua kabel logam yang berbeda dilekatkan dan ditaruh pada media yang diukur. Maka kita melihat bahwa termokopel akan menghasilkan listrik pada ujung pertemuan antar kedua kabel jika salah satu pertemuan ujung yang lain ditaruh pada media temperatur acuan. Sifat ini disebut dengan efek Seedback. Besaran listrik berupa tegangan listrik ini sangat lemah dan tidak linier sehingga perlu rangkaian pengkondisi sinyal berupa rangkaian jembatan.

Itulah salah satu contoh dari penggabungan ketiga ilmu tersebut. Pada bab-bab berikutnya akan banyak ditemui hal yang serupa. Tetapi lebih difokuskan pada listrik arus lemah.

1.4. Keterbatasan dan Kelebihan Pengaturan Elektronika

Pengaturan elektronika memiliki banyak keterbatasan seperti ketergantungan terhadap sumber daya, sensitivitas aktuator dan sensor yang tidak standar, dapat dipengaruhi oleh gangguan (noise) yang berasal dari fluktuasi tegangan

catu dan gelombang elektromagnetik, daya tahan komponen terhadap panas dan kondisi lingkungan. Selain kelemahan tersebut terdapat pula kelebihannya misalnya kemudahan dalam proses pengkondisian sinyal, pergantian komponen dan perekaman data. Proses pengkondisian sinyal berupa atenuasi (pelemahan), amplifier (penguatan), pemfilteran dapat dengan mudah dilakukan mempergunakan rangkaian elektronika. Komponen-komponen elektronik ini mudah di dapat dan penggantian komponen dapat dilakukan dengan mudah daripada komponen-komponen hidraulik maupun pneumatik yang umumnya berukuran besar. Proses penalaan (*tunning*) pengatur bisa mudah dilakukan sehingga parameter pengaturan seperti konstanta proporsional (P), komponen integrator (K_I) dan komponen differensial (KD) dapat ditunning dengan mudah.

1.5. Jenis-jenis Pemrosesan Sinyal

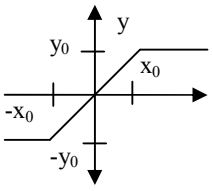
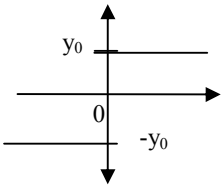
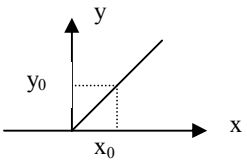
Jika berbicara mengenai sinyal listrik terdapat beberapa proses yang bisa dialami oleh sinyal. Proses-proses tersebut berdasarkan cara kerjanya dapat dibedakan menjadi:

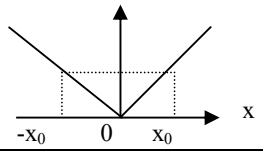
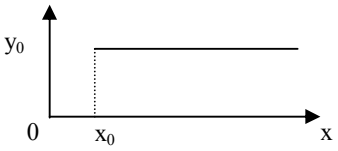
a. Proses Statis
b. Proses Dinamis
c. Proses Arithmatika

1.5.1. Proses Statis

Proses statis berupa proses penguatan, limiter (chopper), rectifier atau komparator yang secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 1.1. Pada tabel ini sinyal input yang masuk ke sebuah proses dinyatakan dengan x(t) sedangkan sinyal output yang keluar dari sebuah proses dinyatakan dengan y(t)

Tabel 1.1. Proses Statis dari Sinyal Elektronika

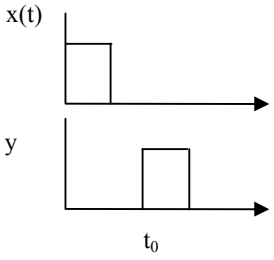
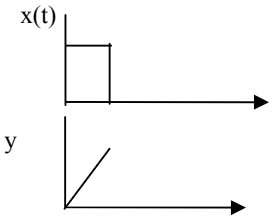
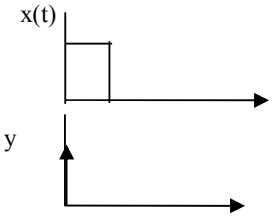
Nama	Deskripsi	Grafik
Soft Limiter	$y = \begin{cases} -y_0 & x < -x_0 \\ y_0 \dfrac{x}{x_0} & \lvert x \rvert \le x_0 \\ y_0 & x > x_0 \end{cases}$	
Hard Limiter	$y = \begin{cases} -y_0 & x < 0 \\ 0 & x = 0 \\ y_0 & x > 0 \end{cases}$	
Half-wave Rectifier	$y = \begin{cases} 0 & x \le 0 \\ y_0 \dfrac{x}{x_0} & x > 0 \end{cases}$	

Full-wave Rectifier	$y = y_0 \left\| \frac{x}{x_0} \right\|$	
Comparator	$y = \begin{cases} 0 & x \le x_0 \\ y_0 & x > 0 \end{cases}$	

1.5.2. Proses Dinamik

Proses dinamik berupa proses yang berhubungan dengan perubahan waktu, proses-proses tersebut adalah proses tunda (delay process), integral, differensiator dan kompresi. Persaman matematis antara sinyal output dengan sinyal input dapat dilihat pada Tabel 1.2.

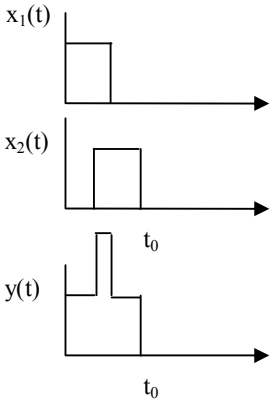
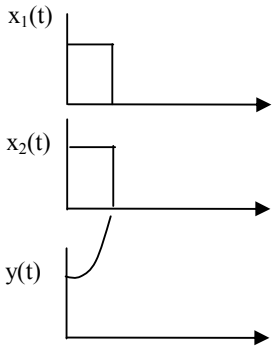
Tabel 1.2. Proses Dinamis dari Sinyal Elektronika

Nama	Deskripsi	Grafik
Delay Process	$y(t) = x(t - t_0)$	
Integrator	$y(t) = K_I \int_{-\infty}^{t} x(t)dt$	
Diffrensiator	$y(t) = K_D \frac{dx(t)}{dt}$	

1.5.3. Proses Arithmatik

Proses aritmatik pada sinyal berupa proses penjumlahan, selisih dan perkalian. Proses perkalian biasanya dipergunakan pada proses modulasi dan demodulasi sinyal yaitu proses sebuah sinyal elektronika dikalikan dengan sinyal lain yang memiliki frekuensi yang berbeda.

Tabel 1.3. Proses Arithamatik dari Sinyal Elektronika

Nama	Deskripsi	Grafik
Penjumlahan	$y(t) = x_1(t) + x_2(t)$	
Perkalian	$y(t)=x_1(t) * x_2(t)$	

1.6. Jenis-jenis Sinyal

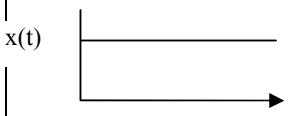
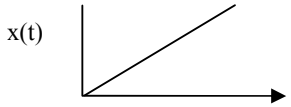
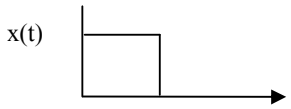
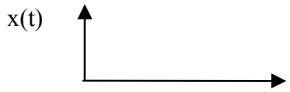
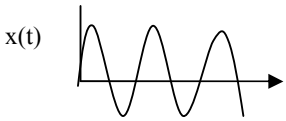
1.6.1. Berdasarkan Bentuk

Sinyal yang mengalir di dalam sistem pengaturan terdiri dari sinyal-sinyal sebagai berikut:

a. Sinyal Step
b. Sinyal drift
c. Sinyal Pulsa
d. Sinyal Impulse (delta)
e. Sinyal Sinus
f. Sinyal Acak

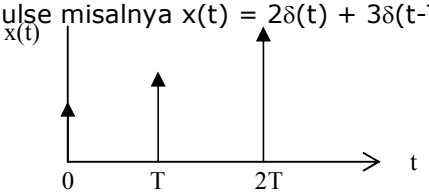
Bentuk-bentuk sinyal tersebut dapat dilihat pada tabel 1.4. Sinyal step bernilai konstan untuk waktu tak hingga sehingga untuk setpoint yang bersifat regulator yaitu selalu konstan nilainya maka sinyal step yang dipergunakan. Sinyal Drift dan impulse biasanya selalu dihindari pada beberapa komponen elektronika karena sinyal drift akan memberikan alat elektronika yang dipergunakan mencapai batas jenuhnya (drift) dan dapat menyebabkan kerusakan. Sedangkan sinyal impulse berupa sinyal kejut yang bisa membuat suatu alat yang tidak sensitif tidak dapat kembali ke posisi semula sehingga menyebabkan terjadinya kerusakan.

Tabel 1.4. Jenis-jenis Sinyal

Nama	Deskripsi	Grafik
Step	x(t) = u(t); huruf u menyatakan fungsi sinyal Step	
Drift	x(t) = kt	
Pulsa	$x(t) = r\left(\frac{t}{\tau}\right)$	
Impulse	x(t)=δ(t)	
Sinus	x(t) = A sin(2πft)	
Acak (random)		

1.6.2 Berdasarkan keberadaan

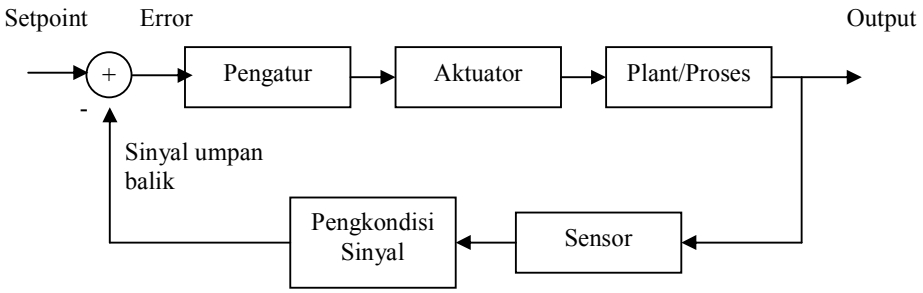
Sedangkan berdasarkan keberadaannya dikenal sinyal kontinu dan sinyal diskrit sinyal kontinu adalah sinyal yang disetiap waktu memiliki nilai sedangkan sinyal diskrit adalah sinyal yang hanya bernilai pada waktu-waktu tertentu atau pada kelipatan dari perioda tertentu. Biasanya sinyal ini diperoleh dari hasil pencacahan (sampling) sinyal analog menjadi digital. Sinyal diskrit secara matematis dinyatakan sebagai kumpulan dari penjumlah sinyal impulse misalnya x(t) = 2δ(t) + 3δ(t-T) + 10δ(t-2T)



Gambar 1.1. Sinyal Diskrit

1.7. Diagram Blok Sistem Pengaturan

Biasanya suatu sistem pengaturan yang sangat kompleks disederhanakan dengan menggambarkan dalam bentuk diagram blok. Setiap komponen-komponen dalam sistem pengaturan dinyatakan sebagai kotak dan sinyal input maupun output dinyatakan dengan garis panah. Diagram blok secara lengkap untuk sinyal kontinu dapat dilihat pada gambar 1.2.



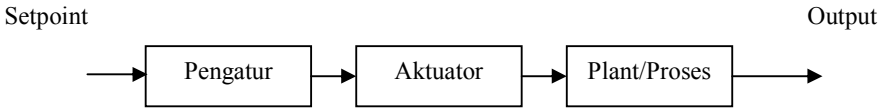
Gambar 1.2. Diagram blok sistem pengaturan kontinu

Gambar ini memperlihatkan suatu sistem pengaturan otomatis yang dikendalikan oleh pengontrol. Nilai setpoint merupakan target yang akan dikejar oleh sistem ini atau nilai pengaturan yang diinginkan. Jika output yang terdeteksi oleh alat ukur tidak sama dengan nilai setpoint maka akan terjadi error. Error atau kesalahan diperoleh dari selisih antara setpoint dengan sinyal umpan balik. Error dinyatakan dengan setpoint dikurangi sinyal umpan balik. Jika error positif berarti setpoint belum terlampaui sedangkan bila error negatif berarti sinyal umpan balik lebih besar nilainya dari setpoint. Pengkondisi sinyal merupakan komponen yang tidak harus selalu ada, hanya diadakan pada kasus tertentu misalnya jika sinyal yang dikeluarkan dari sensor terlalu lemah sehingga perlu dikuatkan atau jika sensor bersifat non linier sehingga perlu dilinierisasikan.

Alat ukur biasanya digambarkan hanya dengan sensor saja. Sensor merupakan pengindera yang mampu mendeteksi perubahan fisik seperti panas, panjang, suara, gelombang elektromagnetik, kecepatan dan lain-lain menjadi besaran lain yang mudah diukur misalnya besaran listrik. Inilah prinsip dari sebuah alat ukur, terkadang sensor disebut juga sebagai transduser karena kemampuannya untuk mengubah bentuk energi fisik menjadi energi lain yang terukur.

Sedangkan aktuator adalah alat penggerak yang menerima sinyal kontrol dari pengatur. Aktuator ini bisa berupa motor, pompa, katup, propeller, pemanas. Sedangkan plant atau proses adalah sistem yang dikontrol

Diagram blok dengan umpan balik ini disebut dengan sistem pengaturan umpan balik (*feedback control system*) sedangkan jika suatu sistem pengaturan tidak memerlukan alat ukur makan dikenal dengan sistem pengaturan umpan maju (feedforward control system) pada sistem pengaturan umpan maju ini tidak dilakukan pengontrolan berdasarkan error secara otomatis karena sistem dengan jenis ini biasanya tidak dilakukan terus menerus dan outputnya selalu cepat untuk mencapai target pengaturan. Terkadang output dinyatakan sebagai variabel pengaturan

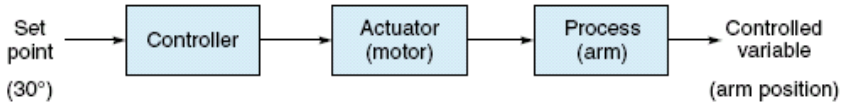


Gambar 1.3. Diagram Blok sistem umpan maju

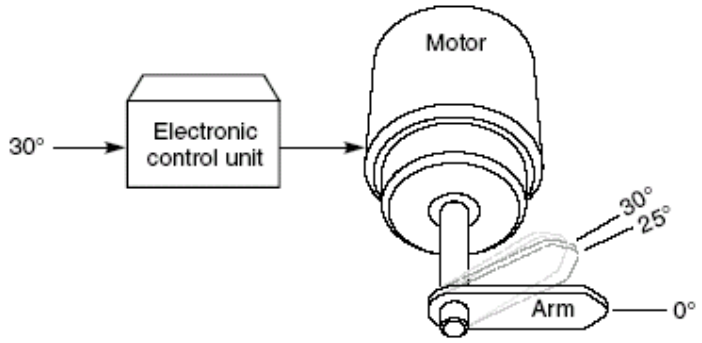
Sedangkan lingkaran dengan tanda positif di tengahnya menggambarkan sebuah penyelisih atau penjumlah. Jika dipandang pada arah tanda panahnya, sistem umpan balik dapat disebut dengan sistem lup tertutup (*Close Loop System*) sedangkan sistem pengaturan umpan maju dapat disebut dengan sistem lup terbuka (*Close Loop System*)

Contoh 1.1.

Pada gambar 1.4 di bawah ini diperlihatkan sistem lup pengaturan terbuka. Aktuatornya adalah sebuah motor yang menggerakkan lengan robot (robot arm). Pada kasus ini yang menjadi plantnya adalah pergerakan lengan dan variabel yang diatur adalah sudut dari lengan. Pengujian awal menunjukkan bahwa motor memutarkan lengan 4 derajat per detiknya. Diasumsikan bahwa pengatur langsung menggerakkan lengan dari 0° sampai 30°. Dengan karakteristik plant ini pengatur mengirimkan 6 detik pulsa daya ke motor. Jika motor bergerak sebagaimana mestinya maka motor akan berputar tepat 30° dalam 6 detik dan berhenti. Saat hari dingin, oli menjadi sangat kental (tebal) sehingga gaya gesek di dalam motor menjadi lebih besar dan motor hanya berputar 25° dalam 6 detik dan hasilnya 5° error. Pengatur tidak dapat tahu error ini dan tidak bisa melakukan apa-apa untuk memperbaikinya.

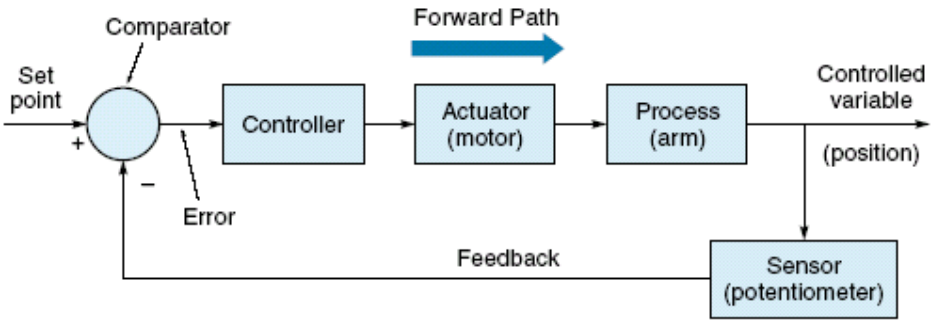


a) Diagram Blok

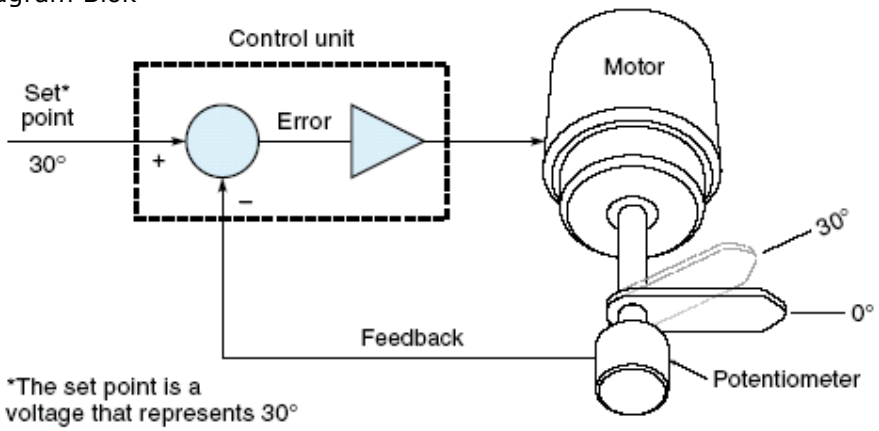


b) Sistem pengaturan posisi sederhana dengan lup terbuka
Gambar 1.4 Sistem pengaturan posisi sudut dengan lup terbuka

Jika pada contoh 1.1. ini ingin ditambahkan pengkoreksi yang mampu menyesuaikan terhadap error yang terjadi maka biasanya digunakan sebuah sensor yang bisa mengukur sudut misalnya potensiometer. Pemasangan potensiometer dapat dilhat pada gambar 1.5. di bawah ini



a) Diagram Blok



b) Penambahan pengkoreksi dan sensor potensiometer

Gambar 1.5. Diagram blok pengaturan posisi dengan lup tertutup

1.8. Sistem Pengaturan Analog dan Digital

Pada sistem pengaturan analog, pengontrol atau pengatur terdiri dari perangkat analog tradisional misalnya amplifier. Sistem pengaturan yang pertama adalah analog karena pada saat itu hanya teknologi itu yang memungkinkan. Setiap nilai setpoint dan perubahan pada sinyal umpan balik diindera dengan cepat dan amplifier langsung mengeluarkan output yang sesuai ke aktuator.

Pada sistem pengaturan digital, pengontrol atau pengatur menggunakan rangkaian digital. Yang umumnya rangkaian digital ini berupa sebuah komputer yaitu bisa mikroprosesor atau mikrokontroler. Komputer mengeksekusi program yang mengulang terus menerus membaca nilai setpoint dan data dari sensor. Kemudian komputer menggunakannya untuk menghitung output dari pengatur yang dikirimkan ke aktuator. Kemudian program memulai lagi dari awal. Waktu total program sampai pengirim output tidak lebih dari 1 mili detik. Sistem digital hanya mengecek input pada waktu-waktu tertentu saja dan memberikan output pembaruannya kemudian. Jika input berubah setelah komputer mengecek berarti input ini lolos tidak terdeteksi sampai pengecekan berikutnya. Inilah perbedaan dasar antara sistem pengaturan digital dengan analog.

Pada dunia real besaran yang digunakan adalah analog oleh karena itu untuk masuk ke pengatur digital perlu ada rangkaian pengubah dari besaran analog ke besaran digital yang disebut dengan Analog to Digital Converter (ADC). Demikian juga besaran dari pengatur digital perlu diubah kembali ke besaran analog agar sesuai dengan besaran yang dipergunakan oleh aktuator. Rangkain pengubah besaran digital ke analog ini disebut dengan Digital to Analog Converter (ADC). Maka diagram blok sistem lup tertutupnya berubah menjadi seperti yang diperlihatkan pada gambar 1.6.