B A B III.

SISTEM KONTROL DAN UMPANBALIK

3.1 BEBERAPA DEFINISI

Sistem adalah susunan, himpunan, atau kumpulan benda-benda yang dihubungkan atau berhubungan sedemikian rupa sehingga membentuk suatu kesatuan atau keseluruhan.

Sistem adalah susunan komponen-komponen fisik yang dihubungkan atau berhubungan sedemikian rupa sehingga membentuk suatu satuan keseluruhan.

Sistem kontrol adalah susunan-susunan komponen fisik yang dihubungkan sedemikian rupa sehingga dapat memerintah, mengarahkan, atau mengatur diri sendiri atau sistem lain.

Masukan (input) adalah rangsangan atau perangsangan yang diterapkan ke sebuah sistem kontrol dari sumber energi luar, agar menghasilkan tanggapan tertentu dari sistem kontrol tersebut.

Keluaran (output) adalah tanggapan sebenarnya yang diperoleh dari sebuah sistem kontrol. Tanggapan ini bisa sama dengan tanggapan yang ada dalam masukan atau bisa juga tak sama dengan yang ada dalam masukan.

Contoh:

Saklar listrik adalah suatu sistem kontrol yang mengontrol listrik. Menghidupkan atau mematikan saklar merupakan masukannya, yaitu masukannya dapat berupa salah satu dari dua keadaan, hidup atau mati. Keluarannya adalah listrik yang mengalir atau tidak mengalir.

Contoh:

Sebuah pemanas atau tungku yang terkontrol secara termostatis yang mengatur suhu ruangan atau ruang tertutup secara automatis adalah contoh sebuah sistem kontrol. Masukan ke sistem tersebut berupa suhu acuan yang dapat disetel secara tepat dengan sebuah termostat. Keluarannya adalah suhu ruang tertutup yang sebenarnya. Bila termostat mendeteksi bahwa keluaran lebih kecil dari masukan, tungku memberikan panas sampai suhu ruang tertutup menjadi sama dengan masukan acuannya.

Contoh:

Suatu bagian dari sistem kontrol suhu tubuh manusia adalah sistem pengeluaran keringat. Bila suhu luar terlalu tinggi untuk kulit, maka kelenjar keringat bersekresi dengan giat, mengakibatkan pendinginan kulit akibat penguapan. Bila efek pendinginan yang dikehendaki telah tercapai atau bila suhu udara turun, maka sekresi tersebut berkurang. Masukan ke sistem adalah suhu. Keluarannya adalah keringat.

3.2 PENGELOMPOKAN SISTEM KONTROL

Sistem kontrol dikelompokkan menjadi dua, yaitu sistem kontrol lup tertutup dan sistem kontrol lup terbuka. Perbedaannya ditentukan oleh tindakan pengontrolannya yang bertanggungjawab menggerakkan sistem untuk menghasilkan keluarannya.

Sistem kontrol lup terbuka adalah suatu sistem yang tindakan pengontrolannya tidak tergantung dari keluaran.

Sedang sistem kontrol lup tertutup adalah suatu sistem yang tindakan pengontrolannya tergantung dari keluaran.

Contoh.

Alat pemanggang roti automatik adalah sistem kontrol lup terbuka, karena dikontrol oleh sebuah pengatur waktu. Waktu yang diperlukan untuk membuat panggang bagus harus diperkirakan oleh pemakainya, yang bukan merupakan bagian dari sistem itu. Pengontrolan atas mutu panggangan (keluaran) adalah penghentian alat pada saat waktu yang telah disetel untuk masukan dan tindakan pengontrolannya.

Contoh.

Mekanisme autopilot dan pesawat terbang yang dikontrol, adalah sistem kontrol lup tertutup. Tujuannya adalah mempertahankan arah pesawat yang telah ditetapkan, tanpa terpengaruh oleh perubahan-perubahan atmosfir. Alat itu akan melakukan tugas itu dengan terus menerus mengukur arah pesawat sesungguhnya dan secara automatis menyetel sayap-sayap pengontrolan pesawat itu (kemudi, sirip, dan sebagainya) agar arah pesawat yang sesungguhnya dapat dibuat sesuai dengan arah yang telah ditentukan. Seorang pilot atau operator yang sebelumnya menyetel autopilot ini, bukan merupakan bagian dari sistem kontrol tersebut.

3.3 UMPANBALIK

Umpanbalik adalah sifat dari suatu sistem lup tertutup yang memungkinkan keluarannya bisa dibandingkan dengan masukan sistem itu sedemikian rupa agar tindakan pengontrolannya yang tepat sebagai fungsi dari keluaran

dan masukannya bisa terjadi.

Umpanbalik adalah ciri sistem kontrol lup tertutup. Secara umum dalam suatu sistem dikatakan ada umpanbalik bila ada urutan tertutup dari hubungan sebab akibat di antara besaran-besaran sistem.

3.4. FUNGSI ALIH

Dalam sistem kontrol umpanbalik, masukan dan tanggapannya (keluarannya) merupakan fungsi dari variabel waktu. Akan tetapi variabel waktu ini tidak berpengaruh secara langsung pada tindakan pengontrolannya. Jadi sistem kontrol umpanbalik merupakan sistem yang tidak berubah waktu.

Sistem fisik, dalam batas tertentu dapat dianggap sebagai sistem yang linier atau dapat dilinierkan. Oleh karena itu bentuk model persamaan differensial dari sistem kontrol umpanbalik adalah persamaan differensial biasa linier dengan koefisien konstanta. Sehingga tanggapannya merupakan penyelesaian untuk y(t) dari persamaan differensial biasa linier dengan koefisien konstanta. Sesuai dengan persamaan (14), bab II, penyelesaian tersebut berbentuk:

$$y(t) = \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{\sum_{i=o}^{m} b_i s^i}{\sum_{i=o}^{n} a_i s^i} x(s) - \frac{\sum_{i=o}^{m} \sum_{k=o}^{i-1} b_i s^{i-1-k} x_o^k}{\sum_{i=o}^{n} a_i s^i} \right]$$

$$+ \mathscr{L}^{-1} \left[\sum_{i=o}^{n} \sum_{k=o}^{i-1} \frac{a_i s^{i-1-k} \; y_o^k}{\sum_{i=o}^{n} a_i s^i} \right]$$

Jika suku-suku yang berasal dari semua harga awal, yaitu x_o^k dan y_o^k, dikumpulkan bersama-sama, maka persamaan (14) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$y(t) = \mathscr{L}^{-1} \left[\frac{\sum_{i=o}^{m} b_i s^i}{\sum_{i=o}^{n} a_i s^i} \; x(s) \right] + \text{(suku-suku yang berasal dari semua harga } x_o^k, \; y_o^k \text{)}$$

.....(16)

Fungsi alih P(s) dari sebuah sistem adalah suatu faktor dalam persamaan Y(s) yang dikalikan transformasi Laplace masukan x(s). Sehingga untuk sistem yang diuraikan pada persamaan (16), fungsi alihnya adalah

$$P(S) = \frac{\sum_{i=0}^{m} b_i s^i}{\sum_{i=0}^{n} a_i s^i} = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \ldots + b_o}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \ldots + a_o}$$

Dan transformasi Laplace tanggapannya dapat dituliskan sebagai Y(s) = P(s) X(s) + (suku-suku yang berasal dari harga-harga x_o^k, y_o^k)

Jika besaran (suku-suku yang berasal dari semua harga awal x_o^k, y_o^k) adalah nol, maka transformasi Laplace dari keluaran yang menanggapi sebuah masukan diberikan oleh:

Y(s) = P(s) X(s) = X(s) P(s) .....(17)

Contoh:

Diberikan sistem dengan masukan dan keluarannya dihubungkan oleh persamaan differensial berikut:

$$\frac{d^2y}{dt^2} + \frac{dy}{dt} + 2y = x(t) + \frac{dx}{dt}$$

maka fungsi alih sistem tersebut dicari sebagai berikut: Transformasi Laplace dari persamaan di atas, dengan mengabaikan suku-suku yang berasal dari syarat-syarat awal, dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (12) bab II, yaitu:

$$s^2Y(s) + 3s\ Y(s) + 2Y(s) = X(s) + s\ X(s)$$

$$(s^2 + 3s + 2)\ Y(s) = (s+1)\ X(s)$$

$$Y(s) = \frac{s + 1}{s^2 + 3s + 2} X(s)$$

Fungsi alihnya diberikan oleh

$$P(s) = \frac{s + 1}{s^2 + 3s + 2}$$

3.4.1 SIFAT-SIFAT FUNGSI ALIH

1. Fungsi alih sistem dapat ditentukan dari persamaan differensial sistem dengan mengambil transformasi Laplace dan mengabaikan semua suku yang berasal dari harga-harga awal. Sehingga fungsi alih P(s) diberikan oleh:

   $$P(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} \qquad (18)$$

2. Persamaan differensial sistem dapat diperoleh dari fungsi alih dengan mengganti variabel s dengan operator differensial D yang didefinisikan oleh $D = \frac{d}{dt}$
3. Akar-akar penyebut dari fungsi alih adalah kutub-kutub

dari sistem dan akar-akar pembilangnya adalah zero-zero sistem. Selanjutnya fungsi alih sistem dapat diperinci sampai meliputi sebuah konstanta dengan menetapkan kutub-kutub dan zeros dari sistem tersebut. Konstanta ini ditandai dengan K dan disebut **faktor gain sistem.**

Contoh:

Diberikan sistem dengan persamaan differensial

$$\frac{dy}{dt} + 2y = \frac{dx}{dt} + x, \text{ dengan } y = y(t) \text{ dan } x = x(t)$$

maka fungsi alihya dicari sebagai berikut:

Transformasi Laplace dari persamaan ini diperoleh dengan membuat semua harga syarat-syarat awal sama dengan nol dan dengan persamaan (12) diperoleh:

$$(s + 2) Y(s) = (s + 1) x(s)$$

$$\frac{Y(s)}{x(s)} = \frac{s+1}{s+2}$$

Sehingga fungsi alih sistem ini adalah

$$P(s) = \frac{s+1}{s+2}$$

Contoh:

Diberikan $P(s) = \dfrac{2s + 1}{s^2 + s + 1}$ suatu fungsi alih

maka persamaan differensial sistem ini adalah:

$$y = \left[\frac{2 D + 1}{D^2 + D + 1} \right] x \quad \text{atau } D^2y + Dy + y = 2 Dx + x$$

$$\text{atau} \quad \frac{d^2y}{dt^2} + \frac{dy}{dt} + y = 2 \frac{dx}{dt} + x$$

dengan $y = y(t)$ dan $x = x(t)$

Contoh:

Fungsi alih $P(s) = \dfrac{K (s + a)}{(s + b)(s + c)}$

dapat diperinci dengan memberikan letak tempat kedudukan zero di s = -a, letak tempat kedudukan kutub-kutub di s = -b dan s = -c, serta faktor gain K.

3.4.2 TANGGAPAN WAKTU SISTEM

Transformasi Laplace dari tanggapan sebuah sistem terhadap sebuah masukan yang khusus, diberikan oleh Y(s)= P(s) X(s), bila semua syarat-syarat awalnya nol (lihat persamaan 17).

Transformasi Laplace Invers y(t) = $\mathscr{L}^{-1}$ |P(s) X(s)| adalah tanggapan waktu sistem y(t) biasanya ditentukan dengan mencari kutub-kutub dari P(s) X(s) dan zero-zero dari P(s) X(s).

Contoh:

Sebuah sistem dengan masukan x(t) = u(t) = tangga satuan. Fungsi alihnya mempunyai sebuah nol di di s = -1, sebuah kutub di s =-2, dan sebuah faktor gain sebesar 2, maka tanggapan waktu sistem tersebut adalah dicari sebagai berikut:

Sistem mempunyai sebuah zero di s =-1, sebuah kutub di s = -2, dan faktor gain K = 2, maka fungsi alihnya adalah

$$P(s) = \frac{2\ (s+1)}{s + 2}$$

Dari tabel 1, $\mathscr{L}$ |u(t) | = $\frac{1}{s}$, sehingga X(S) = $\frac{1}{s}$

Y(s) = P(s) x (s)

$$Y(s) = \frac{2\ (s+1)}{s + 2}\ \frac{1}{s} = \frac{2\ (s+1)}{s\ s + 2}$$

Dengan menggunakan perluasan pecahan parsial diperoleh:

$$Y(s) = \frac{2\ (s+1)}{s + 2} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s + 2}$$

Maka tanggapan waktu sistemnya adalah:

$$y(t) = \mathscr{L}^{-1}|P(s)\ X(s)\ |$$

$$= \mathscr{L}^{-1}\left|\frac{1}{s} + \frac{1}{s+2}\right|$$

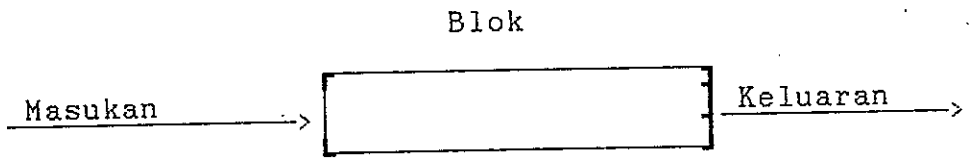
$$= \mathscr{L}^{-1}\left|\frac{1}{s}\right| + \mathscr{L}^{-1}\left|\frac{1}{s+2}\right|$$

$$= 1 + e^{-2t}$$

3.5 Aljabar Diagram Blok

3.5.1 Diagram blok

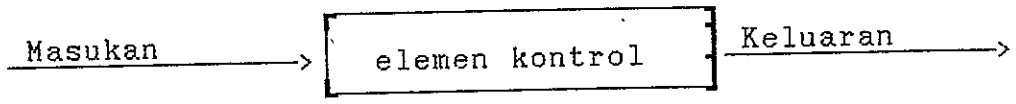
Diagram blok adalah suatu pernyataan gambar yang ringkas dari hubungan sebab dan akibat antara masukan dan keluaran dari suatu sistem fisik. Diagram ini memberikan cara untuk mencirikan hubungan-hubungan fungsional di antara berbagai komponen dari suatu sistem kontrol. Bentuk paling sederhana dari diagram blok adalah blok tunggal, dengan satu masukan dan satu keluaran seperti pada gambar (4).



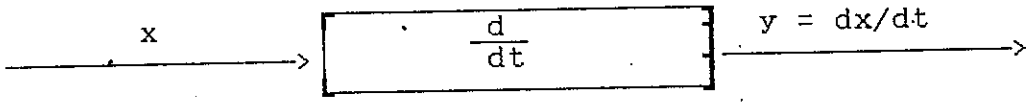
Gambar 4.

Bagian sebelah dalam dari segi empat yang menyatakan blok tersebut berisi uraian atau nama elemennya, atau simbol untuk operasi matematik, yang harus dilakukan pada masukan untuk menghasilkan keluaran. Tanda panah menyatakan arah informasi atau aliran isyarat.

Contoh:



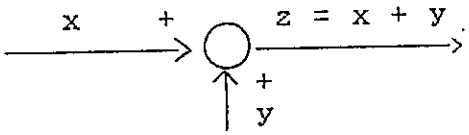
Gambar 5.a



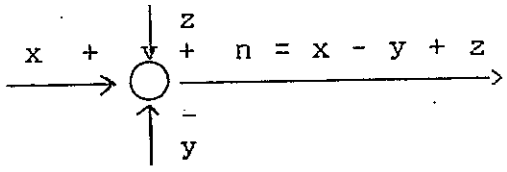
Gambar 5.b

Operasi-operasi penjumlahan dan pengurangan mempunyai sebuah pernyataan khusus. Bloknya menjadi sebuah lingkaran plus-minus yang tepat sesuai dengan panah-panah yang memasuki lingkaran itu. Keluarannya adalah jumlah aljabar dari masukan-masukannya.

Contoh:



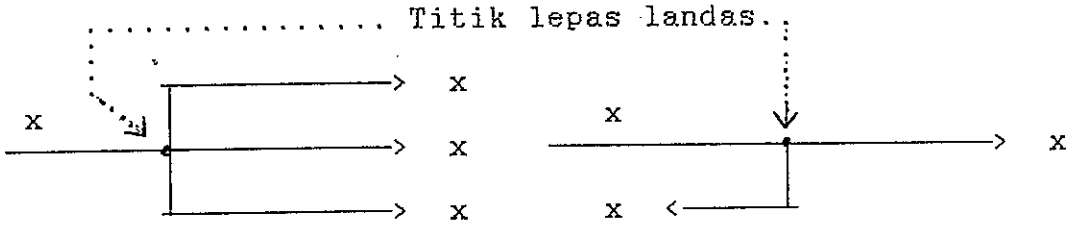
Gambar 6.a



Gambar 6.b

Agar dapat menggunakan isyarat atau variabel yang sama sebagai sebuah masukan ke lebih dari satu blok atau titik penjumlahan (summing point) digunakan sebuah titik lepas landas (take off point). Hal ini memungkinkan isyarat tersebut berjalan tanpa berubah sepanjang lintasan-lintasan yang berbeda ke beberapa tujuan.

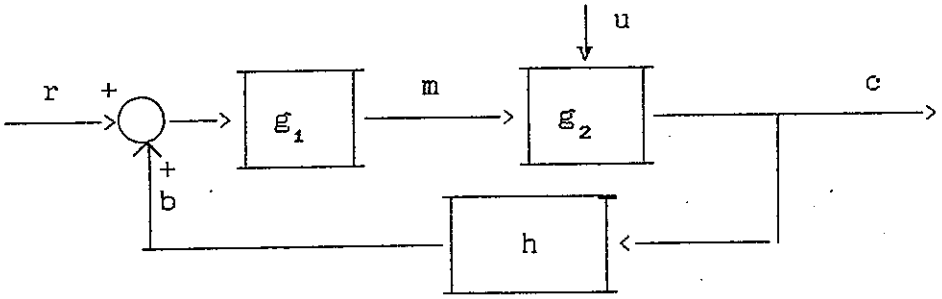
Contoh:



Gambar 7.a Gambar 7.b

3.5.2 Diagram blok untuk sistem kontrol umpanbalik

Blok-blok yang menyatakan berbagai komponen suatu sistem kontrol dihubungkan dengan cara yang mencirikan hubungan fungsional di dalam sistem itu. Konfigurasi dasar dari suatu sistem kontrol lup tertutup / umpanbalik sederhana digambarkan dalam diagram blok pada gambar (8).



Lintasan umpanbalik

Gambar. 8

dengan

r = masukan acuan

e = isyarat penggerak = r ∓ b

g_1= elemen pengontrol

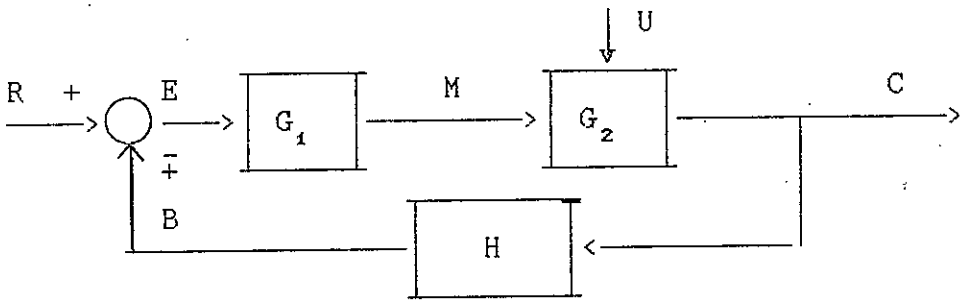
m = variabel termanipulasi

g_2= plant, u = gangguan, c = keluaran terkontrol

h = elemen umpanbalik

b = isyarat umpanbalik primer

Apabila semua besarannya ditulis dalam notasi transformasi Laplace maka konfigurasi gambar (8) menjadi gambar (9).



Lintasan umpanbalik

Gambar .9

Besaran-besaran G_1, G_2, dan M adalah fungsi-fungsi alih dari komponen-komponen dalam blok-blok tersebut.

Umpanbalik negatip artinya titik penjumlahannya merupakan sebuah pengurang. Dari gambar (9) E = R-B menyatakan umpanbalik negatip. Sedangkan umpanbalik positip adalah titik penjumlahannya merupakan sebuah penjumlah. Dari gambar (9), E = R + B menyatakan umpanbalik positip.

SIFAT BLOK.

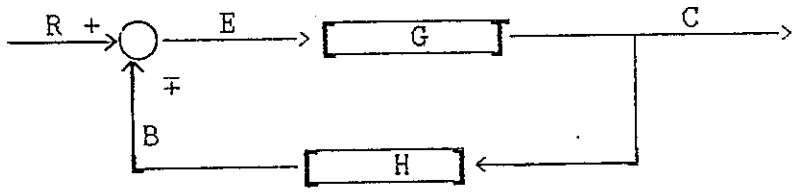
Sejumlah berhingga blok-blok yang berhubungan seri secara aljabar bisa digabungkan oleh perkalian n komponen atau blok dengan fungsi alih G_1, G_2,

$G_3, \ldots, G_n$ yang dihubungkan secara seri adalah ekuivalen dengan sebuah elemen tunggal G dengan suatu fungsi alih yang diberikan oleh:

$$G = G_1 G_2 G_3 G_4 \ldots G_n = \prod_{i=1}^{n} G_i \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (19)$$

3.6 BENTUK KANONIK SEBUAH SISTEM KONTROL UMPANBALIK

Dua buah blok dalam lintasan maju sistem kontrol umpanbalik seperti tersebut pada gambar (9), dapat digabungkan, dengan memisalkan $G = G_1 G_2$ konfigurasi yang dihasilkan disebut bentuk kanonik dari sebuah sistem kontrol berumpanbalik, seperti pada gambar (10).



Gambar.10

dengan R = Masukan Acuan

E = Isyarat Penggerak

B = Isyarat Umpanbalik

C = Keluaran Terkontrol

G = Fungsi Alih Maju = fungsi alih langsung

H = Fungsi Alih Umpanbalik

GH = Fungsi Alih Lup Terbuka

$\frac{C}{R}$ = Fungsi Alih Lup Tertutup

$$\frac{C}{R} = \frac{G}{1 \pm GH} \qquad \text{.....(20)}$$

Fungsi alih lup tertutup $\frac{C}{R}$ dapat ditentukan dari hubungan persamaan (20), yaitu:

$$\frac{C}{R} = \frac{G}{1 \pm GH}$$

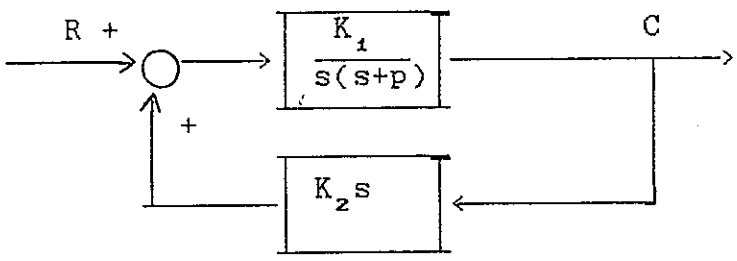
dengan G = fungsi alih maju dan GH = fungsi alih lup terbuka. Tanda (+) dan (-) pada persamaan (20) masing-masing menyatakan sistem umpanbalik negatip. dan sistem umpanbalik positip.

Persamaan karakteristik sistem ditentukan dari $1 \pm GH = 0$, yaitu $D_{GH} \pm N_{GH} = 0$ .....(21)

dengan D_{GH} dan N_{GH} masing-masing adalah penyebut dan pembilang dari fungsi alih lup tertutup GH.

Contoh:

Diketahui sebuah sistem yang didefinisikan oleh diagram blok berikut ini



Gambar .11

maka dari diagram blok yang diketahui $G = \frac{K_1}{s(s+p)}$ dan $H = K_2 S$, maka fungsi alih lup terbukanya

adalah:

$$GH = \frac{K_1}{s(s+p)} \cdot K_2 S = \frac{K_1 K_2}{s+p}$$

Fungsi alih lup tertutupnya adalah:

$$\frac{C}{R} = \frac{G}{1-GH}$$

$$= \frac{\frac{K_1}{s(s+p)}}{1 - \frac{K_1 K_2}{s+p}}$$

$$\frac{C}{R} = \frac{K_1}{s(s+p-K_1K_2)}$$

$$GH = \frac{K_1 K_2}{s+p}$$

Maka $D_{GH} = s + p$ dan $N_{GH} = K_1 K_2$. Sehingga persamaan karakteristiknya adalah:

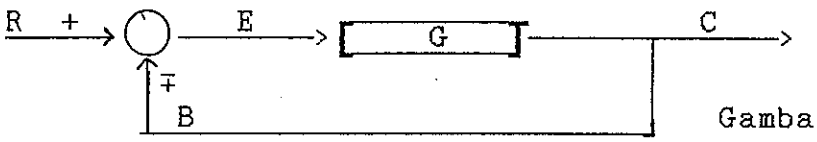
$$D_{GH} - N_{GH} = s + p - K_1 K_2 = 0$$

Jika pada konfigurasi sistem umpanbalik, diambil H = 1, maka sistemnya disebut sistem umpanbalik satuan.

Sistem umpanbalik satuan adalah sebuah sistem umpanbalik, dengan umpanbalik primer B = keluaran terkendali C.

Contoh:

H = 1 untuk sebuah sistem umpanbalik satuan linier



Gambar. 12

Berdasarkan sifat 2 dari sistem kanonik sistem kontrol umpanbalik satuan ditentukan oleh:

$$1 \pm G = 0, \text{ yaitu } D_G \pm N_G = 0 \qquad \text{.....(22)}$$

dengan D_G dan N_G masing-masing adalah penyebut dan pembilang dari G.