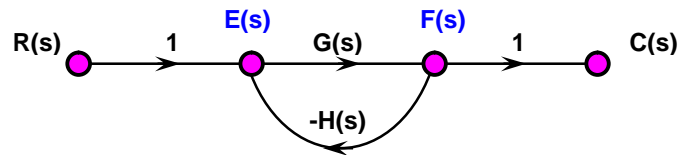


4.2. Diagram Aliran Sinyal (*Signal Flow Diagram*)

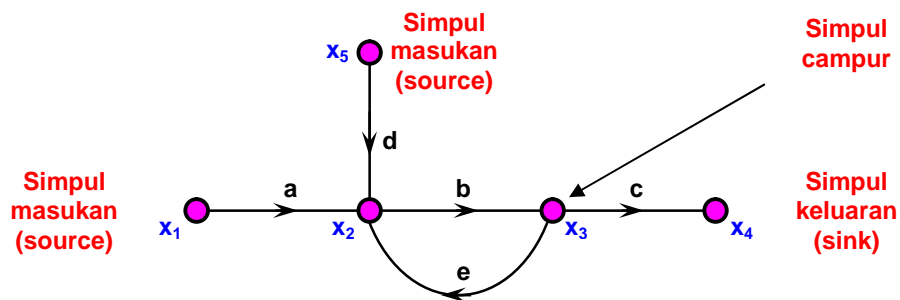
Untuk mengungkapkan sistem pengendalian selain digambarkan dalam bentuk diagram blok, kadang-kadang digambarkan dalam diagram aliran sinyal (*signal flow diagram*) atau sering disebut diagram aliran isyarat, seperti ditunjukkan pada gambar 4.11. Grafik aliran isyarat adalah pernyataan gambar dari persamaan-persamaan serempak yang menguraikan sebuah sistem. Pengungkapan secara grafik aliran isyarat lebih mudah digambar dan dimanipulasi dibandingkan dari diagram blok.



Gambar 4. 16 Diagram aliran sinyal

4.2.1 Istilah-istilah dalam diagram aliran sinyal

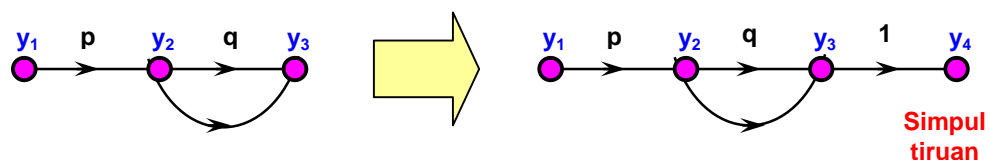
Beberapa istilah yang berkaitan dengan diagram aliran sinyal perlu dimengerti untuk keperluan analisis teknik kendali. Perhatikan gambar berikut



Gambar 4. 17 Bagian-bagian diagram aliran sinyal

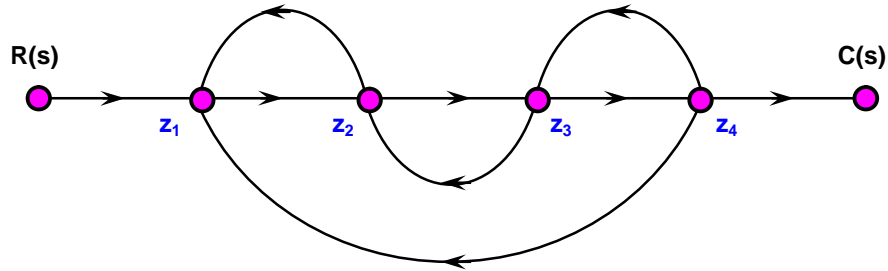
- Titik (*node*) adalah bagian yang menunjukkan variabel sistem atau signal sistem. Pada gambar tersebut terdapat node x_1 , x_2 , x_3 , x_4 dan x_5 , semuanya menunjukkan besaran atau sinyal dari sistem pengendalian.
- Transmittansi (*gain*) adalah penguatan antara dua node yang berdekatan. Pada gambar 4.1 7 yang merupakan transmittansi atau gain adalah a , b , c , d dan e .

- Cabang (*branch*)
adalah segmen garis yang menghubungkan dua node. Pada gambar 4.17 yang merupakan cabang adalah garis x_1x_2 , x_2x_3 , x_3x_4 , x_3x_2 , x_5x_2 .
- Node masukan (*input node = source*)
adalah node yang hanya mempunyai cabang keluaran, yaitu titik x_1 dan x_5 .
- Node keluaran (*output node = sink*)
adalah node yang hanya mempunyai cabang masukan, yaitu titik x_4 .
- Node campuran (*mixed node*)
ialah node yang mempunyai cabang masukan dan keluaran, yaitu titik x_2 dan x_3 .
- Lintasan (*path*)
adalah garis hubungan dua atau lebih dari cabang berarah satu yang kontinu di sepanjang tidak ada simpul yang dilalui lebih dari sekali. Contohnya ialah lintasan $x_1x_2x_3x_4$, $x_5x_2x_3x_4$ dan sebagainya.
- Loop
adalah lintasan tertutup, yaitu loop $x_2x_3x_2$.
- Lintasan maju (*forward path*)
ialah lintasan mulai dari input sampai output node dimana tidak ada node yang dilalui dua kali. Lintasan maju gambar 4.17 adalah $x_1x_2x_3x_4$ dan $x_5x_2x_3x_4$.
- Loop gain
adalah penguatan dari loop. Pada gambar 4.17, loop gainnya adalah gain bc
- Gain lintasan maju (*forward path gain*)
adalah gain dari lintasan maju pada gambar 4.17 gain lintasan majunya adalah gain abc dan dbc .
- Simpul tiruan
adalah simpul bayangan bernilai satu satuan, contohnya y_4 .



Gambar 4. 18 Bagian-bagian diagram aliran sinyal

- Loop yang bersinggungan (*touching loop*) adalah loop yang mempunyai node bersama (*common node*), pada gambar 4.19, terdapat 4 loop yaitu $z_1z_2z_1$, $z_2z_3z_2$, $z_3z_4z_3$ dan $z_1z_2z_3z_4z_1$, loop-loop yang mempunyai node bersama adalah loop $z_1z_2z_1$ dengan loop $z_2z_3z_2$ pada node z_2 , juga loop $z_2z_3z_2$ dengan loop $z_3z_4z_3$ pada z_3 dan sebagainya.



Gambar 4. 19 Diagram aliran sinyal dengan loop lebih dari satu

- Loop yang tidak bersinggungan (*nontouching loop*) adalah loop-loop yang tidak mempunyai node bersama (*common node*), pada gambar 4.19 antara loop $z_1z_2z_1$ dan loop $z_3z_4z_3$ merupakan loop yang tidak bersinggungan.

4.2.2 Hukum Mason

Untuk mencari fungsi alih dari diagram aliran sinyal dilakukan dengan menggunakan hukum Mason. Fungsi alih diagram aliran sinyal didapatkan dari persamaan berikut ini :

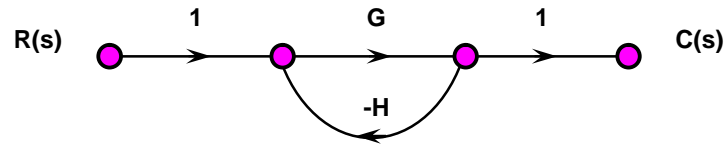
$$P = \frac{1}{\Delta} \sum_{i=1}^k P_k \cdot \Delta_k \dots\dots\dots [4.21]$$

dimana :

- P = fungsi alih sistem pengendalian
- = determinan dari diagram aliran sinyal atau fungsi ciri
- = 1 - (jumlah semua loop gain yang berbeda) + (jumlah semua hasilkali/kombinasi dua loop gain yang tidak bersinggungan) - (jumlah semua kombinasi tiga loop gain yang tidak bersinggungan) + dst
- P_k = gain lintasan maju ke-k
- Δ_k = kofaktor dari lintasan maju ke-k, didapatkan dengan menghilangkan semua loop yang bersinggungan dengan lintasan maju ke -k.

Untuk menerapkan hukum Mason ini perhatikan contoh diagram aliran sinyal pada gambar 4.20.

Contoh 4.1. Tentukan fungsi alih dari diagram aliran sinyal berikut



Gambar 4. 20 Diagram aliran sinyal dengan 1 loop

Dari gambar 4.20 didapatkan sebagai berikut :

➤ **gain lintasan maju ada 1 yaitu :**

$$P_1 = G_1$$

➤ **loop ada 1 yaitu :**

$$L_1 = -GH$$

➤ **determinan diagram aliran sinyal adalah :**

$$= 1 - L_1 = 1 + GH$$

➤ **kofaktor ada 1 yaitu :**

$$\Delta_1 = 1 \text{ (karena semua loop bersinggungan dengan lintasan maju } P_1)$$

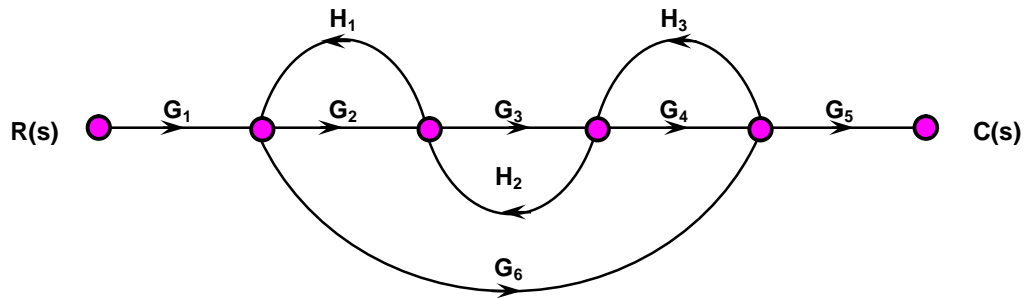
jadi fungsi transfer sistem dapat dicari dengan persamaan 4 -21, yaitu :

$$P = \frac{1}{\Delta} \sum_{i=1}^k P_i \cdot \Delta_i$$

$$P = \left[\frac{P_1 \cdot \Delta_1}{\Delta} \right]$$

$$P = \frac{G}{1 + GH}$$

Contoh 4.2. Tentukan fungsi alih dari diagram aliran sinyal berikut



Gambar 4. 21 Diagram aliran sinyal dengan loop lebih dari satu

Dari gambar 4.21 didapatkan sebagai berikut :

➤ **gain lintasan maju ada dua yaitu :**

$$P_1 = G_1 G_2 G_3 G_4 G_5$$

$$P_2 = G_1 G_6 G_5$$

➤ **loop ada empat yaitu :**

$$L_1 = G_2 H_1$$

$$L_2 = G_3 H_2$$

$$L_3 = G_4 H_3$$

$$L_4 = G_6 H_3 H_2 H_1$$

➤ **determinan diagram aliran sinyal adalah :**

= $1 - (L_1 + L_2 + L_3 + L_4) + (L_1 L_3)$, disini hanya loop L_1 dan L_3 yg tidak bersinggungan

$$= 1 - G_2 H_1 - G_3 H_2 - G_4 H_3 - G_6 H_3 H_2 H_1 + G_2 H_1 \cdot G_4 H_3$$

➤ **kofaktor ada dua yaitu :**

$$1 = 1 \quad (\text{karena semua loop bersinggungan dengan lintasan maju } P_1)$$

$$2 = 1 - L_2 = 1 - G_3 H_2$$

(karena hanya L_2 yang tidak bersinggungan dengan lintasan P_2).

jadi fungsi transfer sistem dapat dicari dengan persamaan 4 -21, yaitu :


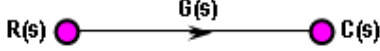
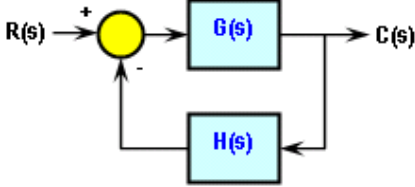
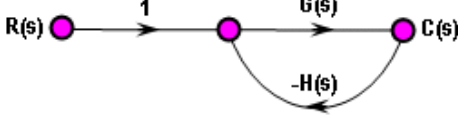
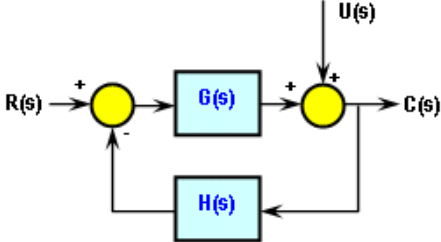
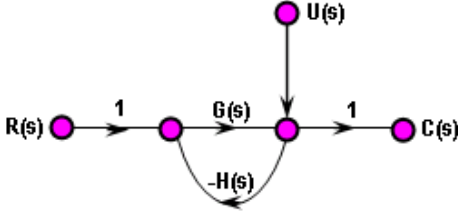
$$P = \frac{1}{\Delta} \sum_{i=1}^k P_k \cdot \Delta_k$$

$$P = \left[\frac{P_1 \cdot 1 + P_2 \cdot 2}{\Delta} \right]$$

$$P = \frac{G_1 G_2 G_3 G_4 G_5 + G_1 G_5 G_6 (1 - G_3 H_2)}{1 - G_2 H_1 - G_3 H_2 - G_4 H_3 - G_6 H_1 H_2 H_3 + G_2 G_4 H_1 H_3}$$

4.3. Transformasi Diagram Blok ke Diagram Aliran Sinyal

Dalam keperluan analisis sistem pengendalian terkadang diperlukan perubahan dari bentuk diagram blok menjadi diagram aliran sinyal. Berikut ini dicontohkan beberapa perubahan yang bisa dijadikan acuan untuk merubah bentuk-bentuk yang lebih kompleks.

No	Diagram blok	Diagram aliran sinyal
1		
2		
3		
4	