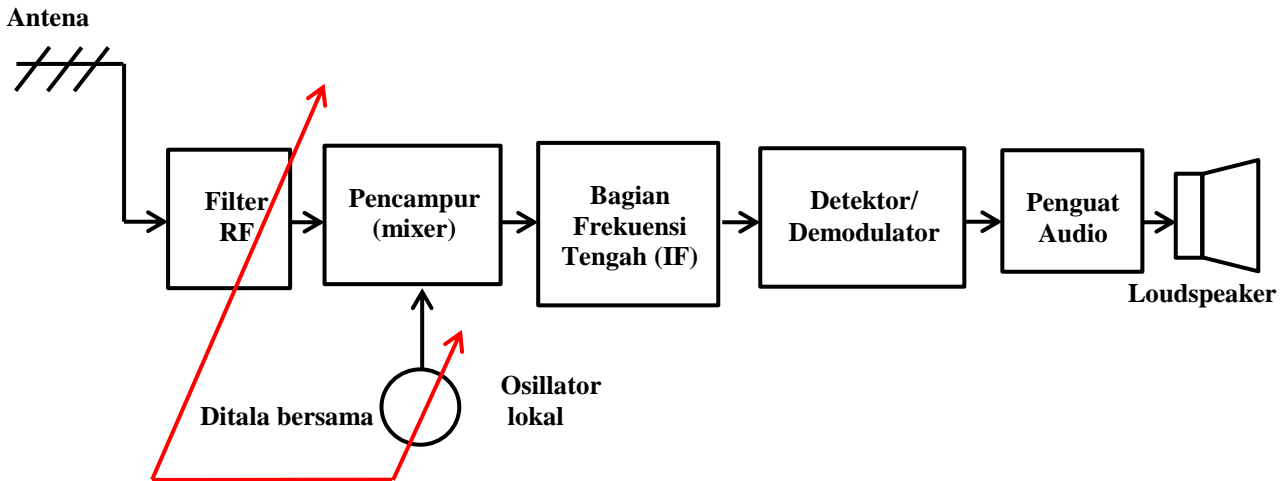


	Materi Pembelajaran	Capaian Pembelajaran
Minggu ke 5. PLO 5. CLO 2. Sub-CLO 6.	1. Struktur rangkaian pradeteksi. 2. Parameter rangkaian pradeteksi. 3. Kinerja rangkaian pradeteksi. 4. Sistem cascade.	1. Memahami rangkaian pradeteksi. 2. Memahami parameter-parameter rangkaian pradeteksi.

**1. Pendahuluan**

**Diagram blok Penerima Superheterodyne:**

Mempunyai beberapa tahap pengolahan sinyal.

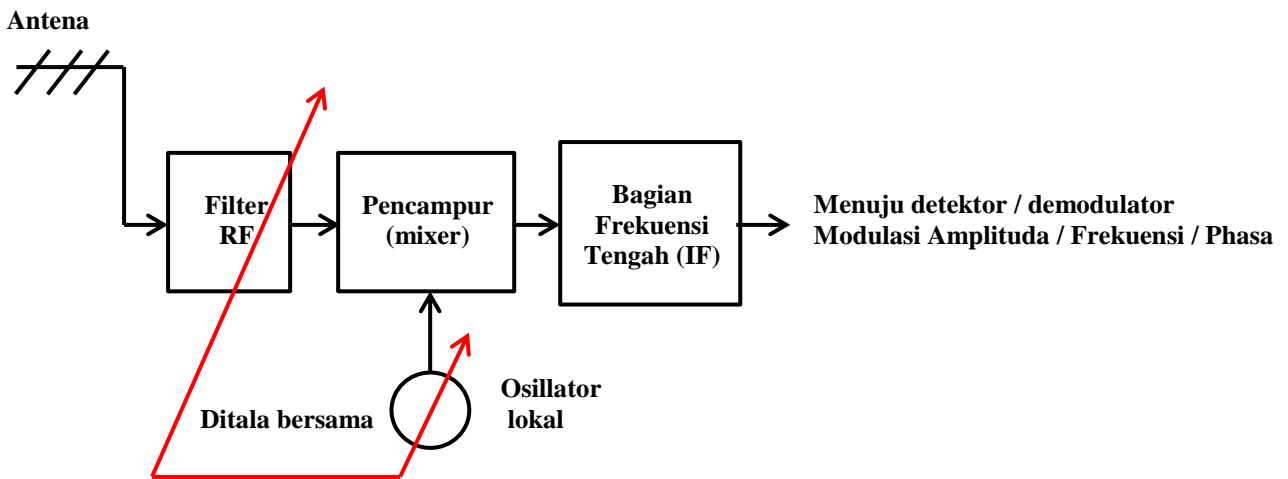


Umumnya adalah sistem passband memakai filter band sempit (narrow band), bandwidthnya cukup untuk melewati sinyal termulasi tanpa distorsi dan untuk membatasi derau yang ada dipenerima.

**2. Rangkaian Pradeteksi**

Bagian depan penerima superheterodyne disebut rangkaian pradeteksi.

**Diagram blok rangkaian pradeteksi:**



Umumnya rangkaian pradeteksi terdiri dari antena, saluran transmisi, filter dan penguat radio frekuensi (RF), mixer dan penguat frekuensi tengah.

Fungsi antena adalah menerima sinyal termulasi dari udara, meneruskannya melalui saluran transmisi menuju filter dan penguat radio frekuensi, dimixer sinyal dengan frekuensi radio akan dikonversikan menjadi sinyal dengan frekuensi tengah, dan akan diperkuat sebelum masuk kedetektor / demodulator.

Parameter sebuah subsistem dirangkaian pradeteksi dinyatakan dengan:

$$G = \text{gain daya subsistem}$$

$$NF = \text{noise figure subsistem}$$

$$T_e = \text{temperatur derau masukan efektif}$$

**3. Model untuk perhitungan daya derau tersedia.**

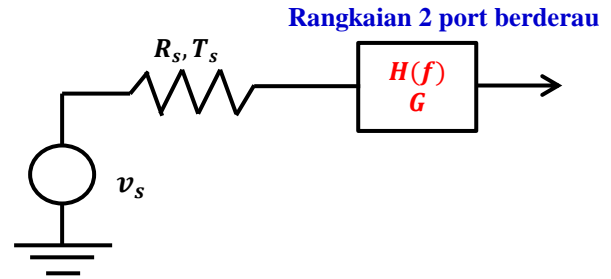
Sebagai contoh disebut penerima mempunyai subsistem yang terdiri dari penguat, filter dan mixer. Tiap subsistem mempunyai passband yang terbatas, kita dapat memodelkannya sebagai sebuah rangkaian 2-port dengan respons frekuensi  $H(f)$  seperti pada gambar dibawah ini.

Daya sinyal yang tersedia dibeban dinyatakan dengan persamaan:

$$P_{out} = GP_{in}$$

Dimana

- $P_{in}$  = daya sinyal tersedia dimasukan rangkaian 2-port.
- $P_{out}$  = daya sinyal tersedia dimasukan rangkaian 2-port.
- $G$  = gain daya sistem.



Daya derau sumber tersedia dimasukan rangkaian 2-port adalah:

$$N_{in} = kT_s B_N$$

Dimana  $B_N$  = bandwidth derau ekuivalen rangkaian 2-port yang dinyatakan dengan persamaan:

$$B_N = \frac{\int_0^\infty |H(f)|^2 df}{|H(f)|_{max}^2}$$

Bila rangkaian 2-port tanpa derau, maka derau yang dikeluarkan keluaran rangkaian adalah:

$$N_{out} = GkT_s B_N$$

Rangkaian 2-port elektronika menambahkan derau yang dihasilkan dari berbagai sumber, diantaranya derau thermal dan derau shot, hal ini dimodelkan dengan gambar dibawah ini:

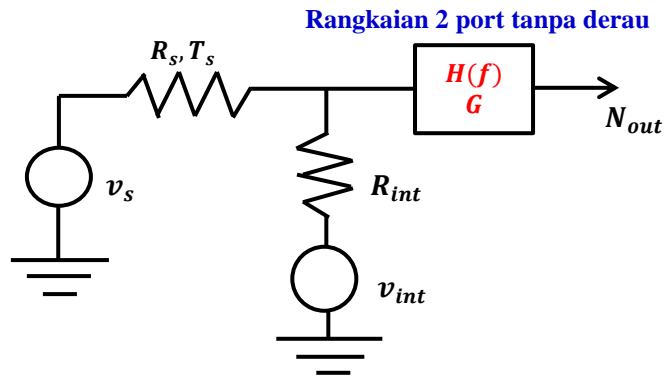
$v_{int}$  = sumber derau ekuivalen resistor masukan rangkaian 2-port  $R_{int}$ .

$N_{int}$  = daya derau tersedia, yang sama dengan daya derau keluaran rangkaian 2-port berderau.

Daya derau total:

$$N_{out} = G(N_{in} + N_{int})$$

$$N_{out} = G(kT_s B_N + N_{int})$$



**4. Noise Factor dan Noise Figure.**

Noise Factor (F) dipakai sebagai figure of merit standart untuk karakterisasi penambahan derau oleh sistem atau oleh subsistem.

Definisi:

Noise factor (faktor derau)  $F$  adalah rasio antara  $SNR$  dimasukan sistem  $(SNR)_{in}$  terhadap  $SNR$  dikeluarkan sistem  $(SNR)_{out}$  pada temperatur sumber sama dengan  $T_0$ .

$$F = \frac{(SNR)_{in}}{(SNR)_{out}} \Big|_{T_s=T_0}$$

Dimana:

$$(SNR)_{in} = \frac{\text{Daya sinyal tersedia di masukan sistem}}{\text{Daya derau tersedia di masukan sistem}} = \frac{P_{in}}{N_{in}} \Big|_{T_s=T_0}$$

Dan

$$(SNR)_{out} = \frac{\text{Daya sinyal tersedia di keluaran sistem}}{\text{Daya derau tersedia di keluaran sistem}} = \frac{P_{in}}{N_{in}} \Big|_{T_s=T_0}$$

Faktor derau  $F$  menentukan seberapa besar penurunan  $(SNR)_{in}$  akibat sinyal melewati sistem atau subsistem. Sebuah sistem ideal atau tanpa derau tidak menambah derau kepada sinyal masukan, sehingga  $(SNR)_{out} = (SNR)_{in}$ , menghasilkan  $F = 1$ .

$$F = \frac{P_{in}/N_{in}}{P_{out}/N_{out}} = \frac{N_{out}}{N_{in}(P_{out}/P_{in})} = \frac{N_{out}}{N_{in}(GP_{in}/P_{in})} = \frac{N_{out}}{N_{in}G} \Big|_{T_s=T_0}$$

Dengan kondisi daya derau total diberikan beban matched:

$$N_{out} = FG N_{in} = FGkT_0 B_N$$

Perhitungan logaritma terhadap faktor derau F dinyatakan dalam dB, disebut noise figure, dipakai untuk menjelaskan kinerja derau sebuah subsistem 2-port, didefinisikan sebagai:

$$NF = 10 \log_{10} F \text{ dB}$$

Faktor derau $F$	Noise figure NF [dB]
1	0
1,5	1,79
1,585	2,00
2	3,01
3	4,77

**5. Temperatur derau efektif masukan sebuah subsistem.**

Temperatur derau adalah sebuah metoda alternatif untuk menjelaskan derau yang dihasilkan oleh rangkaian elektronika. Metoda ini umumnya dipakai diaplikasi komunikasi ruang angkasa atau komunikasi satelit dimana temperatur sumber tidak bernilai 290<sup>0</sup>K.

Karakterisasi temperatur derau tidak membutuhkan temperatur sumber secara spesifik, seperti pada besaran noise figure NF.

Definisi:

Temperatur derau masukan efektif  $T_e$ , dinyatakan dengan <sup>0</sup>K, yang dibutuhkan sebuah **resistor hipotetik**, yang ditempatkan dimasukan subsistem tanpa derau untuk menghasilkan daya derau tersedia yang sama dengan yang dihasilkan oleh subsistem berderau:

$$T_e = \frac{N_{int}}{kB_N}$$

Dimana  $N_{int}$  adalah daya derau tersedia dimasukan subsistem.

Disini ditekankan bahwa  $T_e$  tidak merepresentasikan temperatur operasi subsistem yang sebenarnya, seperti pada kasus resistor.

Bila temperatur sumber dimasukan =  $T_0$ , maka daya derau total yang diberikan beban keluaran matched dapat dinyatakan sebagai:

$$N_{out} = G(N_{in} + N_{int}) = Gk(T_0 + T_e)B_N$$

Temperatur derau masukan efektif sistem  $T_{sys}$ , terdiri dari sumber dan rangkaian 2-port, referensi terhadap masukan, dinyatakan dengan persamaan:

$$T_{sys} = \frac{N_{out}}{GkB_N} = \frac{Gk(T_0 + T_e)B_N}{GkB_N} = T_0 + T_e$$

Hubungan antara temperatur derau masukan efektif dengan faktor derau F rangkaian 2-port:

$$F = \frac{N_{out}}{N_{in}G} = \frac{Gk(T_0 + T_e)B_N}{kT_0B_NG} = \frac{T_0 + T_e}{T_0} = 1 + \frac{T_e}{T_0}$$

Maka:

$$T_e = (F - 1)T_0$$

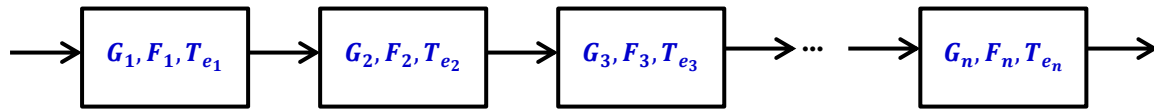
Apabila  $T_0 = 290^0$ K, diperoleh:

$$T_e = 290(F - 1)$$

Faktor derau $F$	Noise figure NF [dB]	$T_e$ [ <sup>0</sup> K]
1	0	0
1,5	1,79	145
1,585	2,00	169,65
2	3,01	290
3	4,77	580

**6. Noise figure susunan subsistem (cascade of subsystems)**

Sebuah sistem komunikasi yang terdiri susunan subsistem (n buah subsistem) seperti pada gambar dibawah ini:



Kita mulai dengan menghitung derau dikeluarkan 2 subsistem pertama.

Daya derau tersedia dikeluarkan subsistem pertama adalah:

$$G_1 k(T_0 + T_{e_1}) B_N$$

Diperkuat dengan  $G_2$ , sehingga derau akibat subsistem kesatu dikeluarkan subsistem kedua adalah:

$$G_1 G_2 k(T_0 + T_{e_1}) B_N$$

Derau internal subsistem kedua dinyatakan dengan:

$$G_2 k T_{e_2} B_N$$

Maka daya derau tersedia dikeluarkan subsistem kedua:

$$N_{out} = G_1 G_2 k(T_0 + T_{e_1}) B_N + G_2 k T_{e_2} B_N = G_1 G_2 k \left( T_0 + T_{e_1} + \frac{T_{e_2}}{G_1} \right) B_N$$

Bandungkan dengan persamaan untuk sebuah subsistem:

$$N_{out} = G k(T_0 + T_e) B_N$$

Maka temperatur efektif 2 buah subsistem:

$$T_e = T_{e_1} + \frac{T_{e_2}}{G_1}$$

Daya derau tersedia dikeluarkan subsistem kedua:

$$N_{out} = G_1 G_2 k(T_0 + T_e) B_N$$

Faktor derau F untuk 2 buah subsistem yang dicascade:

$$F_T = 1 + \frac{T_e}{T_0} = 1 + \frac{1}{T_0} \left( T_{e_1} + \frac{T_{e_2}}{G_1} \right) = 1 + \frac{T_{e_1}}{T_0} + \frac{1}{G_1} \frac{T_{e_2}}{T_0} = F_1 + \frac{1}{G_1} \frac{T_{e_2}}{T_0}$$

Karena:

$$F_2 = 1 + \frac{T_{e_2}}{T_0} \rightarrow \frac{T_{e_2}}{T_0} = F_2 - 1$$

Maka:

$$F_T = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1}$$

Daya derau tersedia dikeluarkan subsistem kedua:

$$N_{out} = G_1 G_2 k(T_0 + T_e) B_N = G_1 G_2 k T_0 \left( \frac{T_0 + T_e}{T_0} \right) B_N = G_1 G_2 k T_0 F_T B_N$$

Untuk sebuah sistem yang terdiri n subsistem yang dicascade, faktor derau total:

$$F_T = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \frac{F_4 - 1}{G_1 G_2 G_3} + \dots + \frac{F_n - 1}{G_1 G_2 G_3 \dots G_{n-2} G_{n-1}}$$

Persamaan diatas dikenal sebagai **rumus Friis**.

Terlihat bahwa:

- a. Gain daya subsistem pertama  $G_1$  berpengaruh terhadap semua subsistem berikutnya.
- b. Sistem komunikasi yang baik akan memakai subsistem pertama dengan nilai  $F_1$  kecil dan gain daya  $G_1$  besar.
- c. Kontribusi derau oleh tiap subsistem berikutnya akan semakin kecil

Daya derau tersedia dikeluarkan subsistem ke n adalah:

$$N_{out} = G_1 G_2 \dots G_{n-1} G_n k T_0 F_T B_N$$

Temperatur derau efektif susunan n subsistem yang dicascade:

$$T_e = T_{e_1} + \frac{T_{e_2}}{G_1} + \frac{T_{e_3}}{G_1 G_2} + \frac{T_{e_4}}{G_1 G_2 G_3} + \dots + \frac{T_{e_n}}{G_1 G_2 G_3 \dots G_{n-2} G_{n-1}}$$

Temperatur derau efektif total sistem  $T_{sys}$ , terdiri sumber dan sistem cascade:

$$T_{sys} = T_0 + T_e$$

Dan daya derau tersedia dikeluarkan sistem:

$$N_{out} = G_1 G_2 \dots G_{n-1} G_n k(T_0 + T_e) B_N$$

**7. Temperatur derau dan faktor derau attenuator (redaman)**

Sebuah attenuator resistif memberikan faktor loss (redaman)  $L$  daya tersedia antara masukan dan keluaran, maka daya derau tersedia dikeluarkan  $N_{out}$  terkait dengan daya derau tersedia di masukan  $N_{in}$  sesuai dengan persamaan:

$$N_{out} = \frac{1}{L} N_{in} = G_a N_{in}$$

Karena attenuator resistif, diasumsikan berada di temperatur  $T_s$  seperti tahanan ekivalen dimasukan, daya keluaran tersedia adalah:

$$N_{out} = kT_s B$$

Karakterisasi attenuator dengan temperatur efektif, maka:

$$N_{out} = G_a k(T_s + T_e) B = \frac{1}{L} k(T_s + T_e) B$$

Dengan persamaan:

$$N_{out} = kT_s B$$

dan:

$$N_{out} = G_a k(T_s + T_e) B = \frac{1}{L} k(T_s + T_e) B$$

Maka:  $T_e = (L - 1)T_s$

Faktor derau cascade tahanan sumber dan attenuator:

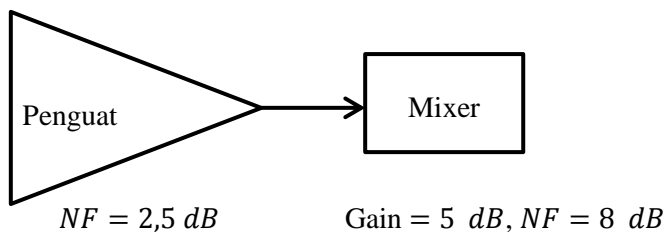
$$F = 1 + \frac{(L - 1)T_s}{T_0}$$

Bila attenuator pada temperatur ruang  $T_0$ , maka:

$$F = 1 + \frac{(L - 1)T_0}{T_0} = L$$

**Contoh soal no 1.**

Sebuah penguat dihubungkan dengan sebuah mixer:



Hitung gain penguat agar noise figure keseluruhan  $\leq 4$  dB.

**Solusi:**

Rumus Friis:

$$F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1}$$

Maka gain penguat bila noise figure keseluruhan = 4 dB:

$$G_1 = \frac{F_2 - 1}{F - F_1} = \frac{10^{8/10} - 1}{10^{4/10} - 10^{2,5/10}} = \frac{6,3096 - 1}{2,5119 - 1,7783} = \frac{5,3096}{0,7336} = 7,2377 \text{ (rasio)}$$

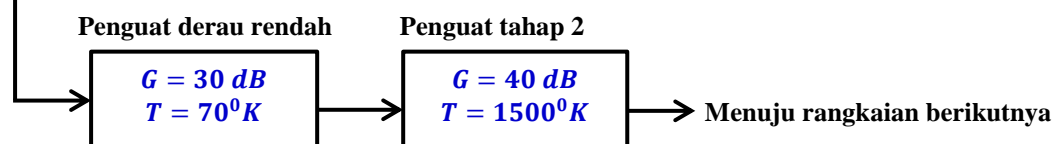
$$G_1 \text{ dalam dB} = 10 \log_{10} 7,2377 = 8,6 \text{ dB}$$

**Contoh soal no 2.**

Sebuah sistem bagian depan sebuah penerima:

Antena

Temperatur derau antena  $T_a = 50^0 K$   
Gain daya antena  $G_a = 0$  dB



Hitung temperatur derau sistem.

Jawab:

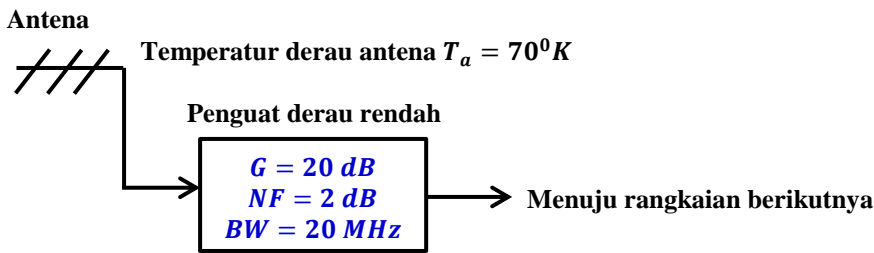
Sistem diatas dapat dipandang sebagai 3 buah subsistem yang dicascade, maka:

$$T_e = T_1 + \frac{T_2}{G_1} + \frac{T_3}{G_1 G_2}$$

$$T_e = 50 + \frac{70}{1} + \frac{1500}{1 \times 1000} = 121,5^{\circ}K$$

**Contoh soal no 3.**

Sebuah sistem bagian depan sebuah penerima:



- a. Hitung temperatur derau efektif penguat derau rendah.
- b. Hitung daya derau tersedia dikeluarkan penguat derau rendah.

Jawab:

- a. Hitung temperatur derau efektif penguat derau rendah.  
Sistem diatas dapat dipandang sebagai 2 buah subsistem yang dicascade.  
Temperatur derau efektif penguat dengan faktor derau F rangkaian 2-port:

$$T_e = (F - 1)T_0$$

$$NF = 2 \text{ dB} \rightarrow 10 \log_{10} F = 2, \text{ maka } F = 1,585$$

$$T_e = (1,585 - 1)290^0 = 169,6^0 K$$

- b. Hitung daya derau tersedia dikeluarkan penguat derau rendah.  
Antena dianggap sebagai sumber derau dengan  $T_s = T_a = 70^0 K$ .

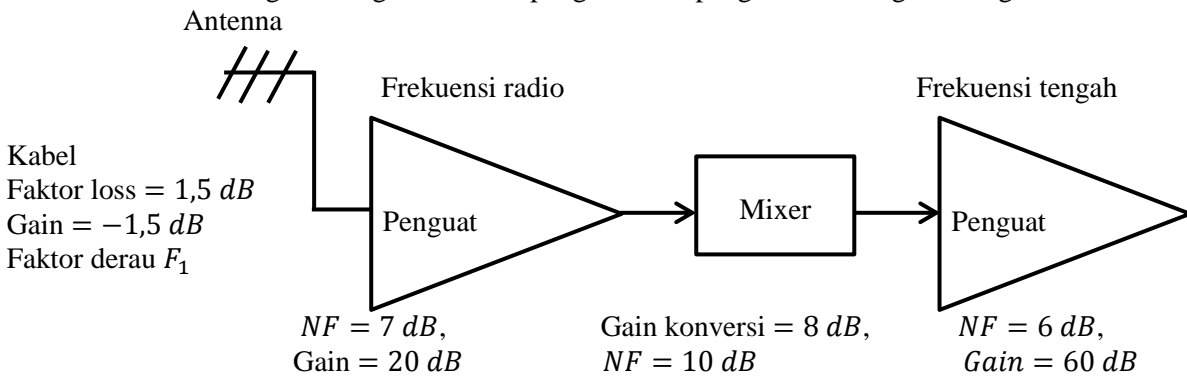
Daya derau tersedia dikeluarkan penguat derau rendah:

$$N_{out} = G_1 k T_{sistem} B_N = G_1 k (T_s + T_e) B_N = 10^{20/10} (1,38 \times 10^{-23}) (70 + 169,6) 20 \cdot 10^6$$

$$N_{out} = 6,613 \times 10^{-12} \text{ Watt}$$

**Contoh soal no 4.**

Sebuah antenna dihungkan dengan kabel ke-penguat, dan penguat dihubungkan dengan sebuah mixer:



- a. Hitung faktor derau sistem dan noise figure sistem.
- b. Hitung temperatur derau sistem.
- c. Hitung faktor derau sistem dan noise figure sistem bila posisi kabel ditukar dengan penguat frekuensi radio (penguat frekuensi radio diletakkan di-antenna).
- d. Hitung temperatur derau sistem bila posisi kabel ditukar dengan penguat frekuensi radio (penguat frekuensi radio diletakkan di-antenna).

**Solusi:**

- a. Hitung faktor derau sistem dan noise figure sistem.  
 Ubah nilai faktor loss dan noise figure dalam *dB* menjadi faktor derau dalam rasio:  
 Faktor derau

$$F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \frac{F_4 - 1}{G_1 G_2 G_3}$$

$$F = 1,412 + \frac{5,012 - 1}{0,708} + \frac{10 - 1}{70,8} + \frac{3,981 - 1}{446,72} = 1,412 + 5,666 + 0,127 + 0,0067 = 7,212$$

Noise figure:

$$NF = 10 \log_{10} 7,212 = 8,58 \text{ dB}$$

- b. Hitung temperatur derau sistem.

$$T_e = (F - 1)T_0 = (7,212 - 1)290^0 K = 1801^0 K$$

- c. Hitung faktor derau sistem dan noise figure sistem bila posisi kabel ditukar dengan penguat frekuensi radio (penguat frekuensi radio diletakkan di-antenna).

Faktor derau sistem bila posisi kabel ditukar dengan penguat frekuensi radio:

$$F = F_2 + \frac{F_1 - 1}{G_2} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \frac{F_4 - 1}{G_1 G_2 G_3}$$

$$F = 5,012 + \frac{1,412 - 1}{100} + \frac{10 - 1}{70,8} + \frac{3,981 - 1}{446,72} = 5,012 + 0,004 + 0,127 + 0,0067 = 5,149$$

Noise figure sistem bila posisi kabel ditukar dengan penguat frekuensi radio:

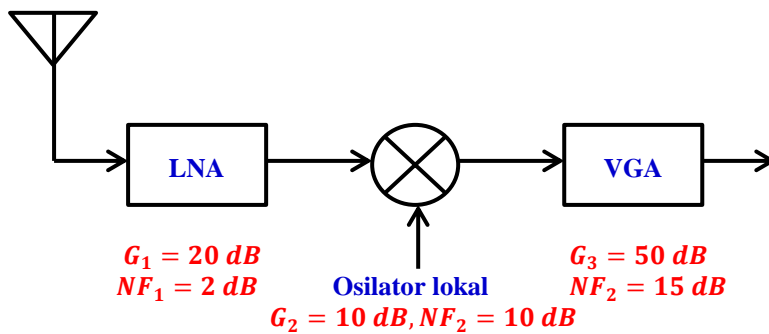
$$NF = 10 \log_{10} 5,149 = 7,12 \text{ dB}$$

- d. Hitung temperatur derau sistem bila posisi kabel ditukar dengan penguat frekuensi radio (penguat frekuensi radio diletakkan di-antenna).

$$T_e = (F - 1)T_0 = (5,149 - 1)290^0 K = 1203^0 K$$

**Contoh soal no 5.**

Perhatikan diagram blok penerima pada gambar dibawah ini:



Hitung noise figure penerima.

**Solusi:**

Faktor derau (*F*) sistem cascade diatas adalah:

$$F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2}$$

Faktor derau dan gain tiap tahap adalah sebagai berikut:

Tahap	<i>F</i>	<i>NF</i> (dB)	Gain	Gain (dB)
1	1,585	2	100	20
2	10	10	10	10
3	31,6	15	10 <sup>5</sup>	50

Maka faktor derau:

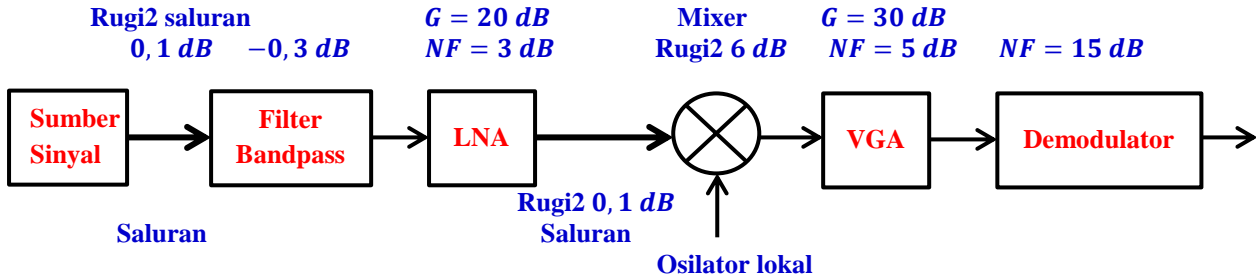
$$F = 1,585 + \frac{10 - 1}{100} + \frac{31,6 - 1}{(100)(10)} = 1,585 + 0,09 + 0,0315 = 1,7065$$

Noise figure:

$$NF = 10 \log(1,7065) = 2,32 \text{ dB}$$

**Contoh soal no 6.**

Perhatikan diagram blok penerima pada gambar dibawah ini:



Hitung noise figure penerima.

**Solusi:**

Tabel:

	Saluran transmisi	Filter bandpass	Low noise amplifier (LNA)	Saluran transmisi	Mixer	VGA	Demodulator
Gain $G$ (dB)	-0,1	-0,3	20	-0,1	-6	30	
$G$	0,977	0,933	100	0,977	0,25	1000	
$G_1 G_2 \dots G_{n-1}$	0,977	0,912	91,2	89,1	22,28	22.276	
$NF$ (dB)	0,1	0,3	3	0,1	6	5	15
$F$	1,0233	1,071	2	1,0233	4	3,162	31,62

Maka faktor derau:

$$F = 1,0233 + \frac{1,071 - 1}{0,977} + \frac{2 - 1}{0,912} + \frac{1,0233 - 1}{91,2} + \frac{4 - 1}{89,1} + \frac{3,162 - 1}{22,28} + \frac{31,62 - 1}{22.276}$$

$$F = 1,0233 + 0,0727 + 1,0965 + 0,000255 + 0,0337 + 0,097 + 0,00137 = 2,32483$$

Noise figure:

$$NF = 10 \log(2,32483) = 3,664 \text{ dB}$$

**Referensi:**

1. Simon Haykin, Michael Moher, Introduction to Analog & Digital Communications, 2nd Edition, Wiley, 2007. Chapter 11.
2. Rodger E Ziemer, William H Tranter, Principles of Communications Systems , Modulation, and Noise, 7th Edition, Wiley, 2015. Appendix A.
3. Leon W. Couch, II, Digital and Analog Communication Systems, 8th Edition, Pearson, 2013. Chapter 5.
4. Bruce Carlson, Paul Crilly, Communication Systems, 5th Edition, McGraw-Hill, 2010. Chapter 4.
5. Hwei Hsu, Analog and Digital Communications, 2nd Edition, McGraw-Hill, 2003. Chapter 3.
6. K. Sam Shanmugam, Digital and Analog Communication System, John Wiley & Sons, 1979. Chapter 6.