

Bab 7: Efek Pembebanan dan Reliabilitas

Dr. Ir. Jeffry Handoko Putra, M.T

182

Efek Pembebanan Instrumen ukur pada Medium

- Instrumen Ukur dapat membebani medium yang diukur sehingga harga hasil pengukuran yang terbaca pada alat ukur tidak sama dengan harga variabel pengukuran jika alat ukur tidak dipasang.

Contoh:

- Termometer yg membebani medium pengukuran
- Voltmeter atau ameter yang membebani rangkaian pengukuran.

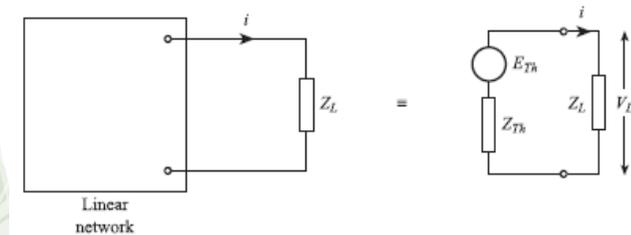
183

Efek Pembebanan Alat Ukur Pada Medium

- Alat ukur atau sistem yang dipasang pada medium dapat menerima transfer variabel tegangan, variabel arus atau variabel daya dari medium, tergantung pada alat ukur/sistem.
 - Alat ukur tegangan menerima transfer variabel tegangan dari medium
 - Alat ukur arus menerima transfer variabel arus dari medium
 - Alat ukur daya menerima transfer daya dari medium
- Besarnya harga variabel tegangan, arus atau daya yang ditransfer dari medium ke alat ukur menyebabkan kesalahan penunjukan harga pengukuran.

184

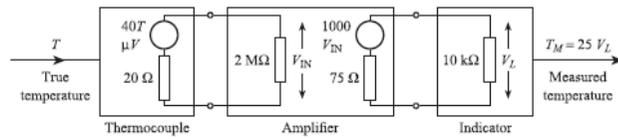
Rangkaian Ekuivalen Thevenin



$$V_L = iZ_L = E_{Th} \frac{Z_L}{Z_{Th} + Z_L}$$

185

Figure 5.3 Thévenin equivalent to temperature measurement system.



$$T_M = \left(\frac{2 \times 10^6}{2 \times 10^6 + 20} \right) \left(\frac{10^4}{10^4 + 75} \right) T = 0.9925T \quad [5.4]$$

Figure 5.4 Equivalent circuit for pH measurement system.

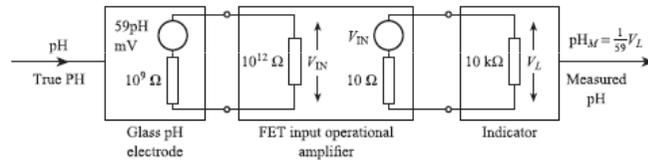
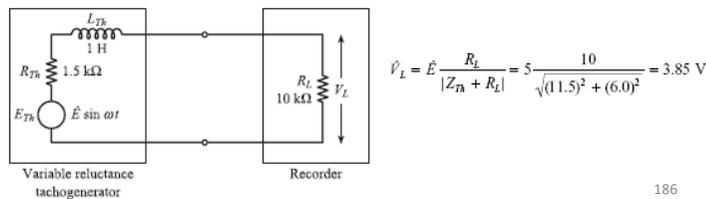
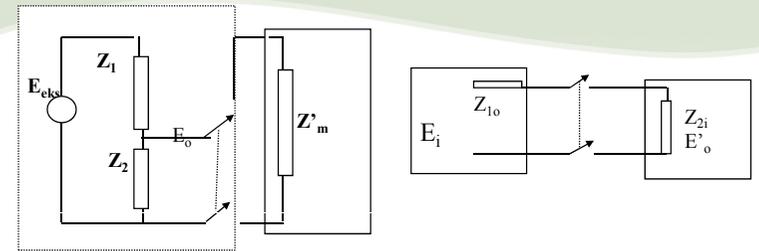


Figure 5.5 A.C. loading of tachogenerator.



186

Contoh Rangkaian Thevenin : potentiometric displacement sensor



187

- Impedansi output medium (rangkaian yang diukur)

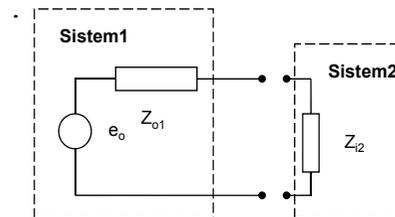
$$Z_o = R_1 // R_2 = R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$$

- Tegangan output rangkaian tanpa beban = e_o

$$e_o = \frac{R_2}{R_1 + R_2} e_{eks}$$

- Tegangan output rangkaian setelah ada impedansi input metger $Z_{in} = R_m$, sehingga tegangan output menjadi e_o'

$$\begin{aligned} e_o' &= \frac{(R_m // R_2)}{(R_m // R_2) + R_1} e_{eks} = \frac{(R_m R_2 / (R_m + R_2))}{(R_m R_2 / (R_m + R_2)) + R_1} e_{eks} \\ &= \frac{R_m R_2}{R_m R_2 + R_1 (R_m + R_2)} \frac{R_1 + R_2}{R_2} e_o = \frac{R_m (R_1 + R_2)}{R_m R_2 + R_1 R_m + R_1 R_2} e_o \\ &= \frac{R_m (R_1 + R_2)}{R_m (R_1 + R_2) + R_1 R_2} e_o = \frac{R_m}{R_m + R_1 R_2 / (R_1 + R_2)} e_o = \frac{Z_{i2}}{Z_{i2} + Z_{o1}} e_o \end{aligned}$$



- Output sistem 1 setelah dipasang sistem 2, menjadi:

$$e_o^1 = \frac{Z_{i2}}{Z_{i2} + Z_{o1}} e_o$$

- Supaya tidak terjadi efek pembebanan maka

$$Z_{i2} \gg Z_{o1}$$

Sehingga $e_o^1 \simeq e_o$

- Persamaan ini berlaku jika variabel yang ditransfer (diukur) adalah variabel tegangan (across quantity).
- Jika yang diukur variabel arus (flow quantity), maka $Z_{i2} \ll Z_{o1}$ atau $Y_{i2} \gg Y_{o1}$

di mana

- Y_{o1} adalah admitansi output sistem 1
- Y_{i2} admitansi input sistem 2

189

- Efek Pembebanan tidak hanya terjadi pada sistem elektrik, tetapi pada sistem termal, sistem mekanis, dsb juga akan terjadi efek pembebanan jika suatu sistem (Instrumen) dihubungkan dengan instrumen lainnya atau suatu sistem fisis dihubungkan dengan sistem fisis lainnya
- Secara umum semua sistem fisis mempunyai dua variabel yang saling bebas. Variabel 1 adalah variabel alir (q_1) dan variabel 2 adalah variabel potensial (q_2) misal:
 - pada sistem listrik ada variabel arus ($q_1=I$) dan tegangan listrik ($q_2 = V$)
 - Pada sistem termal ada variabel temperatur ($q_2=T$) dan aliran kalor ($q_1 = Q$)
 - Pada sistem aliran fluida ada debit aliran ($q_1=Q$) dan tekanan fluida ($q_2 = p$).

190

Hubungan antara variabel alir (q_1) dengan variabel potensial (q_2)

- Jika perkalian q_1 dan q_2 besaran energi
 - Impedansi $\frac{q_2}{q_1} = \frac{\text{variabel potensial}}{\text{variabel alir}} = \text{Impedansi} = Z$
 - Admitansi $\frac{q_2}{q_1} = \frac{\text{variabel alir}}{\text{variabel potensial}} = \text{admitansi} = Y = \frac{1}{Z}$
 - Daya $q_1 q_2 = \text{Daya}$

- **Contoh:** pada sistem elektrik $q_1 = I$ (arus listrik) dan $q_2=V$ (tegangan listrik), maka $P = VI$

191

- Jika perkalian $q_1 q_2$ berupa besaran energi, maka
 - Stiffness atau kekakuan sistem adalah perbandingan variabel potensial dengan variabel alir

$$\frac{q_2}{q_1} = \frac{\text{variabel potensial}}{\text{variabel alir}} = \text{stiffness} = S$$

- Compliance adalah atau kelenturan sistem adalah perbandingan variabel alir dengan variabel potensial

$$\frac{q_2}{q_1} = \frac{\text{variabel alir}}{\text{variabel potensial}} = \text{Compliance} = C = \frac{1}{S}$$

- Contoh: pada pegas $F = K x$, F (gaya) adalah variabel potensial dan x (defleksi pegas) adalah variabel alir. K stiffness pegas, dan C compliance pegas = $1/K$

- Jika suatu sistem dihubungkan dengan sistem lainnya, dan yang ditransfer adalah variabel tertentu, maka stiffness (impedansi) input dari sistem fisis kedua dapat membebani sistem fisis pertama, jika harga stiffness (impedansi) output sistem pertama tidak sesuai dengan stiffness (impedansi) input sistem kedua.

- Apakah alat ukur (sistem fisis kedua) akan membebani medium pengukuran (sistem fisis pertama), tergantung pada macam variabel yang diukur, variabel alir atau variabel potensial atau variabel daya dan harga stiffness (impedansi) input dan output dari kedua sistem

193

- Pada sistem yang perkalian dua variabelnya adalah besaran daya,

- maka efek pembebanan dinyatakan dalam variabel impedansi atau admitansi.
- Supaya kedua sistem tidak saling membebani:
 - Jika yang diukur atau ditransfer adalah variabel potensial (q_2) maka Impedansi input sistem kedua harus jauh lebih besar dari pada impedansi output sistem pertama ($Z_{2i} \gg Z_{1o}$)
 - Jika yang diukur atau ditransfer adalah variabel alir (q_1), maka $Z_{2i} \ll Z_{1o}$ atau $Y_{2i} \gg Y_{1o}$
 - Jika yang akan ditransfer daya, maka $Z_{2i} \simeq Z_{1o}$ (Matching Impedansi)

194

- Pada sistem yang perkalian dua variabelnya adalah besaran energi

- maka efek pembebanan dinyatakan dalam variabel stiffness atau compliance.
- Supaya kedua sistem tidak saling membebani:
 - Jika yang diukur atau ditransfer adalah variabel potensial (q_2) maka Stiffness input sistem kedua harus jauh lebih besar dari pada stiffness output sistem pertama ($S_{2i} \gg S_{1o}$)
 - Jika yang diukur atau ditransfer adalah variabel alir (q_1), maka $S_{2i} \ll S_{1o}$ atau $C_{2i} \gg C_{1o}$
 - Jika yang akan ditransfer daya, maka $S_{2i} \simeq S_{1o}$ (Matching Stiffness)

195

Reliability of Sensor

Dr. Ir. Yeffry Handoko Putra, M.T

196

Definisi

- ❖ Reliability atau kehandalan adalah kemampuan alat untuk tidak gagal
- ❖ Pengukuran akan lebih baik jika memiliki akurasi juga jarang gagal
- ❖ Reliability dihitung dari peluang kegagalan atau sering dikenal dengan
 - failure rate untuk yang tidak berbahaya dan
 - hazardous rate untuk yang berbahaya

- ❖ Reliability:

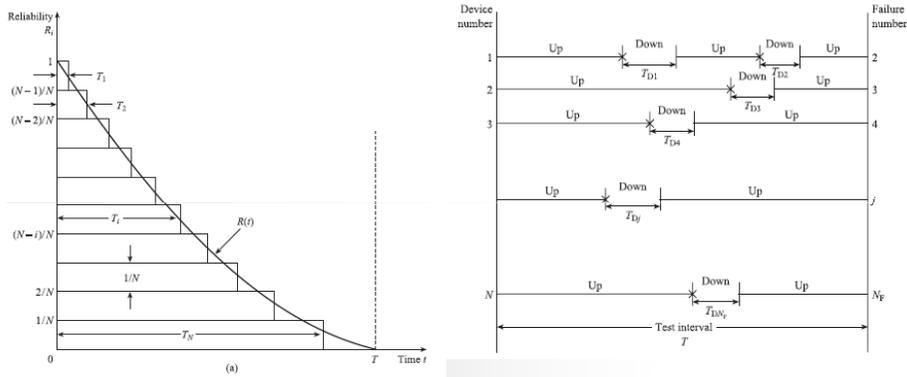
$$R(t) = 1 - F(t)$$

$$F(t) = \int f(t) dt; f(t) = \text{fungsi kegagalan}$$

197



Failure Pattern



Non repairable item

Repairable item



Reliabilitas secara praktis



Non repairable Item

❖ Mean Time to Failure (MTTF):

$$\text{Mean time to fail} = \frac{\text{total up time}}{\text{number of failures}}$$

$$\text{MTTF} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} T_i$$

❖ Mean Failure rate ($\bar{\lambda}$) → kebalikan dari MTTF

$$\text{Mean failure rate} = \frac{\text{number of failures}}{\text{total up time}}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{N}{\sum_{i=1}^{N} T_i}$$



Repairable item

❖ Mean down time:

$$\text{Mean down time} = \frac{\text{total down time}}{\text{number of failures}}$$

downtime = waktu gagal sampai selesai diperbaiki

$$\text{MDT} = \frac{1}{N_F} \sum_{j=1}^{N_F} T_{Dj}$$

❖ Mean time Between Failure (MTBF) = mean up time:

$$\text{MTBF} = \frac{NT - N_F \text{MDT}}{N_F}$$

$$\begin{aligned} \text{Total up time} &= NT - \sum_{j=1}^{N_F} T_{Dj} \\ &= NT - N_F \text{MDT} \end{aligned}$$



❖ Mean failure rate ($\bar{\lambda}$):

$$\text{Mean failure rate} = \frac{\text{number of failures}}{\text{total up time}}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{N_F}{NT - N_F \text{MDT}}$$

❖ Availability:

$$\begin{aligned} \text{Availability} &= \frac{\text{total up time}}{\text{test interval}} \\ &= \frac{\text{total up time}}{\text{total up time} + \text{total down time}} \\ &= \frac{N_F \times \text{MTBF}}{N_F \times \text{MTBF} + N_F \times \text{MDT}} \end{aligned}$$

$$A = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MDT}}$$



Reliability dan failure rate

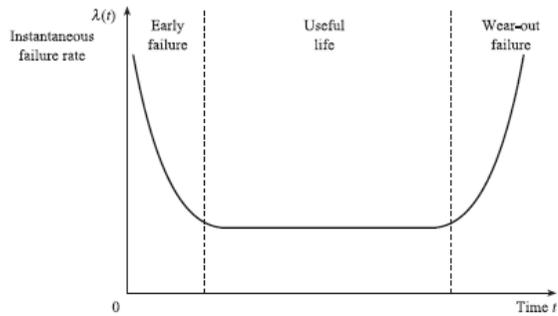


- ❖ Kehandalan (reliabilitas) berkurang secara eksponensial

$$R(t) = \exp \left[-\lambda \int_0^t \xi \right] = \exp(-\lambda t)$$

$$F(t) = 1 - \exp(-\lambda t)$$

- ❖ Bathtub curve



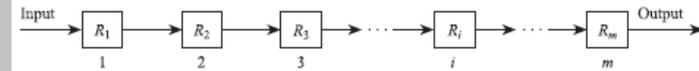
202



Sistem Reliabilitas



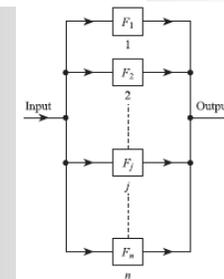
- ❖ Series System



$$R_{\text{SYSTEM}} = R_1 R_2 \dots R_i \dots R_m$$

$$R_{\text{SYSTEM}} = e^{-\lambda_{\text{SYSTEM}} t} = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_i + \dots + \lambda_m) t}$$

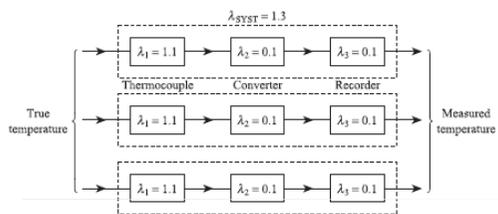
- ❖ Parallel System Redundancy Term



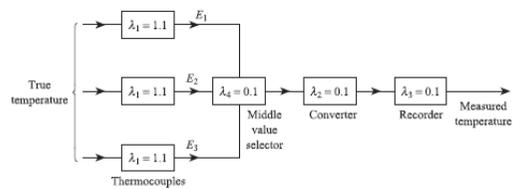
203



Kasus 3 termokopel



- ❖ Kegagalan mana yang terbesar?



204