

JURNAL TEKNOLOGI

(Journal of Technology)

JURNAL ILMU TEKNIK DAN SAINS

Daftar Isi

MESIN

Kajian Teknis Pengaruh Kerak Karbon Di Atas Kepala Torak Terhadap Unjuk Kerja (Performance) Mesin Mobil Minibus Gi Toyota Kijang Tipe Lgx-2l Diesel

Krist ofal Waas

Analisis Keluhan Psikis Dan Fisik Karyawan Dengan Menggunakan Metode Pshycho Physiologi

Aminah Rumatela, Nil Edwin Maitimu

Vibrometer Dengan Kantilever Dan Carbon Transducer Yang Diterapkan Pada Pipa Vortex Flowmeter

M. F. Noya

Studi Eksperimental Karakter Distribusi Tegangan Pada Cylinder Head Internal Combustion Engine

Danny Pelupessy

Suatu Kajian Teoritis Termodinamika Siklus Kerja Dan Pemakaian Bahan Bakar Mesin Diesel (Empat Langkah 350 Hp. 400 Rpm)

Alosyus Eddy Leimena

Pengaruh Keausan Bubungan Katup Masuk Terhadap Daya Motor Induk Pada Km Nusantara Perdana

Prayitno Ciptoadi, V.I. Berhitu

Metoda Penyaring Ruang Sederhana Pada Interferometer Michelson

Pieldrie Nanlohy, Samy J. Litiloly

SIPII

Analisis Penanggulangan Genangan Di Kota Ambon Pada Das Waitomu Kelurahan Uritetu

Renny J Betaubun, Donny Hari Suseno, Ussyandawayanty

Proyeksi Jumlah Pergerakan Dalam Menentukan Kapasitas Dan Jumlah Armada Perintis Kabupaten Maluku Barat Daya

Standy Johannes, M. Ruslin Anwar, Eddi Basuki

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PATTIMURA AMBON



VIBRAMETER DENGAN KANTILEVER DAN CARBON TRANSDUCER YANG DITERAPKAN PADA PIPA VORTEX FLOWMETER

M..F.Noya^{*)}

Abstrak

Vibrameter dengan sistem kantilever dan carbon transducer terdiri atas komponen utama yaitu sistem kantilever dengan ujung bebas bermassa m , tabung udara, pelat piston yang dihubungkan dengan massa m , resistor carbon granule dengan sensor diaphragma, sumber arus DC dengan tegangan E , transformator dengan rasio $1: N$, rangkaian diferensial kuat arus listrik $R_B L_B C_B$ seri yang dikopel dengan transformator dan oscilloscope. Vibrameter ini dapat diterapkan untuk mengukur eksitasi getaran pada pipa vortex flow meter dalam arah vertikal, horizontal atau aksial. Dengan mengatur harga-harga R_B , L_B , dan C_B ke dalam parameter-parameter respon dinamik sistem kantilever dan carbon transducer serta dengan menghindari kondisi dimana terjadinya resonansi frekuensi, maka diperoleh tegangan output yang terbaca pada oscilloscope adalah sama dengan respon percepatan getaran pipa vortex meter. Secara visual dalam ukuran kuantitatif, signal-signal tegangan pada oscilloscope ini masih perlu diolah dengan program aplikasi computer FFT sedemikian hingga diperoleh respon eksitasi getaran pipa dalam suatu fungsi analisis harmonik.

Kata kunci :vibrameter, kantilever, carbon transducer, vortex flowmeter

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

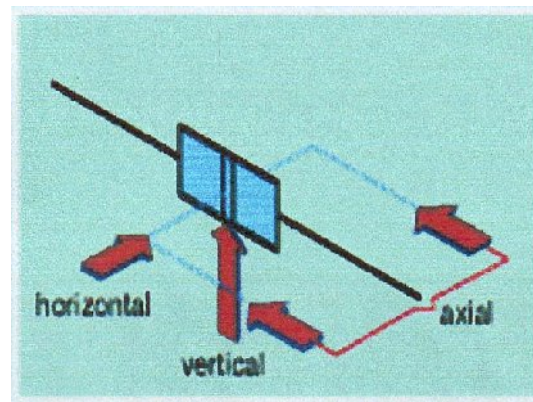
Penerapan vortex flowmeter untuk mengukur aliran-aliran gas, steam dan cairan mengalami peningkatan di dalam industry. Suatu sifat yang utama dari vortex flowmeter adalah robustness, linearity, dan memiliki variasi yang rendah di dalam temperatur dan viskositas. Meskipun demikian vortex meter sensitif terhadap efek-efek instalasi, secara khusus getaran-getaran pada dinding pipa dimana vortex flowmeter dipasang. Getaran-getaran itu terjadi karena gaya-gaya yang diinduksikan oleh pusating aliran atau eksitasi mekanik melalui kompresor atau pompa. Efek getaran-getaran itu telah diketahui menyebabkan systematic error dalam pembacaan aliran suatu vortex flowmeter [Bokhorst et all, 1999].

Untuk mengukur getaran-getaran yang terjadi pada suatu pipa vortex flow meter diperlukan suatu instrumen vibrameter. Beberapa vibrameter telah diterapkan untuk tujuan ini misalnya sensor ultrasonik atau laser dropller beam namun keduanya relative mahal dan diperlukan suatu pengontrolan khusus untuk menghindari pengaruh bunyi noise yang ada di sekitarnya. Sehubungan dengan itu suatu vibrameter dengan kantilever dan carbon transducer dapat dipertimbangkan lebih murah dan praktis, dan dalam hal adanya pengaruh bunyi noise di sekitarnya dapat diabaikan. Setidaknya vibrameter dengan sistem ini dapat dibuat secara manual dan diterapkan untuk kegiatan penelitian yang berhubungan dengan eksitasi getaran pada pipa vortex flowmeter.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Eksitasi Getaran

Eksitasi getaran pada dinding pipa vortex flowmeter dapat terjadi dalam arah vertikal, horizontal dan aksial sebagaimana diinset dalam gambar 1.



Gambar .1 Sistem Eksitasi Getaran Pada Vortex Flowmeter

Oleh karena itu suatu vibrameter perlu diupayakan dan ditempatkan sedemikian hingga eksitasi getaran dalam ketiga arah itu dapat diketahui.

Vibrameter dengan kantiveler dan carbon transducer dapat diterapkan dalam medan eksitasi vertikal, horizontal atau aksial sebagaimana dikemukakan.

^{*)}M.F Noya ;Dosen Program Studi Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Unpatti

2.2 Sistem Kantilever

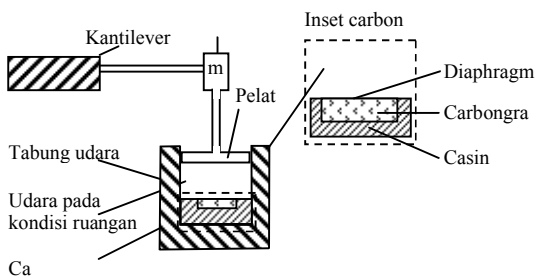
Suatu kantilever adalah sebuah beam (balok prismatis dengan rasio luas penampang melintangnya terhadap panjangnya adalah demikian kecilnya) dengan profile berbentuk lingkaran, segitiga, segiempat, I, atau H dan sebagainya dimana satu ujungnya dijepit sementara ujung yang satunya dibiarkan dalam keadaan bebas. Jika pada bagian ujung yang bebas itu diberikan suatu beban bermassa m maka kantilever akan beroskilasi (sepanjang batas deformasi elastisnya tidak dilampaui). Dalam keadaan oskilasi bebas, pengaruh massa kantilever diabaikan. Suatu logam elastis misalnya baja dapat dibuat menjadi kantilever.

2.3 Sistem Carbon Transducer

Suatu carbon transducer adalah sebuah resistor carbon granule yang ditempatkan dalam sebuah casing dengan sebuah diaphragma pada bagian permukaannya sedemikian hingga jika diaphragma itu bergetar akibat over pressure partikel-partikel udara dan gelombang bunyi yang bekerja padanya maka terjadi perubahan resistansi pada carbon granule. Carbon granule merupakan salah satu jenis resistor yang biasa dipakai sebagai sensor mikropen.

2.4 Sistem Mekanisme Hubung

Jika carbon transducer diletakkan didalam sebuah tabung udara pada tekanan dan temperatur ruangan tabung pada bagian atas tabung itu diberikan sebuah pelat tipis yang dapat beroskilasi dalam arah aksial sumbu tabung maka diaphragma carbon transducer akan beroskilasi sesuai oskilasi pelat tersebut. Jika pelat tipis itu dihubungkan menjadi satu dengan sebuah batang kecil yang terpasang pada bagian ujung bebas kantilever sedemikian hingga massa ujung bebas itu adalah m , maka gerakan pelat tipis dalam tabung adalah sesuai dengan gerakan massa m . Untuk oskilasi yang kecil, suatu perpindahan massa m , pelat dalam tabung, dan diaphragma carbon transducer dapat dianggap berlangsung dalam arah yang sama yaitu arah aksial sumbu tabung. Suatu mekanisme hubung kantilever dan carbon transducer yang demikian ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Mekanisme Hubung Kantilever Dan Carbon Transducer

III. PEMBAHASAN

3.1 Model Respon Transien

Andaikan massa m pada ujung bebas kantilever memiliki konstanta stiffness coefficient C_s dan viscous damping coefficient C_{vd} , maka keadaan oskilasi bebas massa m dengan perpindahan dari posisi keseimbangan $y_1(t)$ adalah

$$m \ddot{y}_1(t) + C_{vd} \dot{y}_1(t) + C_s y_1(t) = 0 \quad (1)$$

Jika kantilever memiliki panjang L_K , modulus elastisitas E_K dan momen inersia statis I_K , maka dari kekuatan material diperoleh

$$C_s = \frac{3E_K I}{L_K^3} \dots\dots\dots (1.1)$$

Jika tekanan, temperatur dari rasio panas spesifik, udara dalam ruangan masing-masing adalah P_0 , T_0 dan γ_0 , pelat bergerak dalam tabung dengan kecepatan V_p , maka over pressure partikel udara dalam tabung menjadi [www.educyclopedia.be/2008-06-12]

$$\Delta P = \left(\frac{\gamma_0 P_0}{a} \right) V_p \dots\dots\dots (1.2)$$

Dimana a adalah cepat rambat gelombang bunyi

$$a = \sqrt{\frac{\gamma_0 RT_0}{M}} \dots\dots\dots (1.3)$$

Dimana :

- R = Konstanta universal udara
- M = Berat molekul udara

Jika tabung memiliki diameter D , maka gaya akibat over pressure adalah

$$\Delta F = \frac{\pi D^2}{4} \Delta P \dots\dots\dots (1.4)$$

Substitusi (1.2) ke dalam (1.4), diperoleh

$$\Delta F = \frac{\pi D^2}{4} \frac{\gamma_0 P_0}{a} V_p \dots\dots\dots (1.5)$$

Dengan memandang udara dalam hal ini sebagai suatu medium kontiyu, maka dapat dinyatakan

$$V_p = \frac{dy_1(t)}{dt} = \dot{y}_1(t) \dots\dots\dots (1.6)$$

Substitusi (1.6) ke dalam (1.5) diperoleh

$$\Delta F = C_{ai} \dot{y}_1(t) \dots\dots\dots (1.7)$$

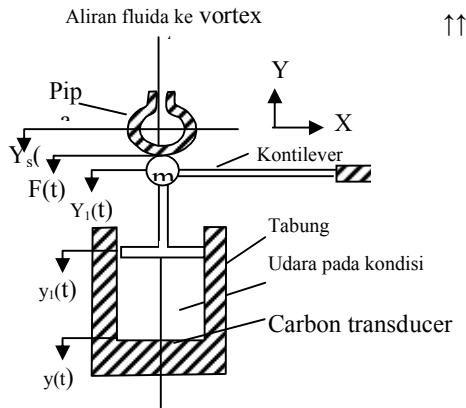
Dimana

$$C_{ai} = 4 \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{\gamma_0 P_0}{a} \dots\dots\dots (1.8)$$

Konstanta C_{ai} disebut juga sebagai impedansi akustik. Dalam hal ini oleh karena pengaruh gesekan pelat terhadap tabung dapat diabaikan maka dapat diasumsikan $C_{ai} = C_{vd}$

3.2 Model Respon Steady

Misalnya bagian atas massa *m* pada ujung bebas kantilever diatur bersentuhan dengan bagian bawah pipa vortex flow meter sedemikian hingga padanya bekerja gaya eksitasi getaran pipa itu dalam arah vertikal sebagaimana ditunjukkan dalam gambar 3.



Gambar 3. Eksitasi Getaran Pipa Dalam Arah Vertikal

Jika gaya eksitasi pipa dalam arah vertikal adalah *F(t)*, perpindahan pipa dan massa ujung bebas dari kantilever *m* dalam arah vertikal terhadap posisi keseimbangannya masing-masing adalah *y_s(t)* dan *y₁(t)*, maka berdasarkan hukum kedua Newton.

$$m \cdot \ddot{y}_1(t) + C_{vd} \dot{y}_1(t) + C_s y_1(t) = F(t) = m\ddot{y}_s(t) \dots (2)$$

Suatu respon dinamik dalam arah vertikal sebagaimana ditunjukkan pada pers. (2) dapat dikatakan memiliki model yang sama dengan respon dinamik dalam arah horisontal dan aksial. Oleh karena itu pembahasan terhadap eksitasi getaran dalam satu arah telah mewakili dua arah lainnya jika dilihat dari model respon dinamik.

Misalkan diaphragma dari carbon transducer memiliki luas penampang *A_D* dan stiffness coefficient *C_{SD}*. Pengaruh over pressure *ΔP* terhadap perpindahan diaphragma *y(t)* dapat dinyatakan sebagai

$$\Delta P = \frac{C_{SD}}{A_D} y(t) \dots (2.1)$$

Dari pers. (1.2), (1.6) dan (1.8) diperoleh

$$\Delta P = \frac{C_{vd}}{\pi D^2/4} \dot{y}_1(t) \dots (2.2)$$

Sehingga dari pers. (2.1) dan (2.2) diperoleh

$$\dot{y}_1(t) = C_T y(t) \dots (2.3)$$

Dimana :

C_T adalah koefisien transmisi

$$C_T = \frac{C_{SD} \frac{4\pi D^2}{4}}{C_{vd} A_D} \dots (2.4)$$

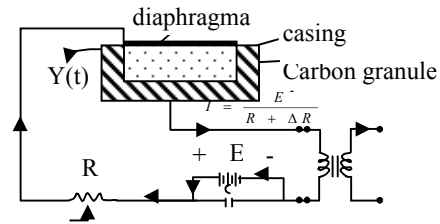
Dengan memberikan *Jerak* terhadap persamaan (2) dan (2.3) diperoleh suatu persamaan respon dinamik antara sistem kantilever dan diaphragma carbon transducer dalam fungsi waktu perpindahan diaphragma.

$$C_T \ddot{y}(t) + C_T \frac{C_{vd}}{m} \dot{y}(t) + \frac{C_T C_s}{m} y(t) = \ddot{y}_s(t) \dots (2.5)$$

Dimana : $\ddot{y}_s(t) = \frac{d}{dt} \dot{y}_s(t)$

3.3 Carbon Transducer dan Signal Output

Gambar 4 memperlihatkan suatu carbon transducer dalam suatu rangkaian listrik DC dengan tegangan yang diberikan *E*.



Gambar 4. Carbon Transducer Dalam Rangkaian Listrik DC Dengan Tegangan *E*

Dengan menerapkan ekivalen Norton untuk rangkaian dalam gambar 4, diperoleh kuat arus output carbon transducer.

$$I = \frac{E}{R + \Delta R} \dots (3)$$

Karena *ΔR* merupakan fungsi dari perpindahan diaphragma *y(t)* maka dapat dinyatakan

$$(R + \Delta R)^{-1} = f(y) \dots (4)$$

Untuk menentukan *f(y)* perlu dilakukan kalibrasi terhadap sejumlah perpindahan diaphragma *y₀, y₁, y₂, ..., y_n*. Sehingga diperoleh

$$\left. \begin{aligned} (R + \Delta R)^{-1} &= \frac{I(Y_0)}{E} = f(Y_0) \\ Y &= Y_0 \\ (R + \Delta R)^{-1} &= \frac{I(Y_1)}{E} = f(Y_1) \\ Y &= Y_1 \\ (R + \Delta R)^{-1} &= \frac{I(Y_2)}{E} = f(Y_2) \\ Y &= Y_2 \\ &\vdots \\ &\vdots \\ (R + \Delta R)^{-1} &= \frac{I(Y_n)}{E} = f(Y_n) \\ Y &= Y_n \end{aligned} \right\} \dots (5)$$

Jika $f(y) = (R + \Delta R)^{-1}$ di bawah ke dalam suatu aproksimasi interpolasi polinomial, maka dapat digunakan beberapa metode. Salah satu metode interpolasi polinomial adalah formula Newton Gregory. Dengan metode ini diperoleh

$$f(y) = f(y_0) + {}^n C_1 \Delta f(y_0) + {}^n C_2 \Delta^2 f(y_0) + \dots + \dots + {}^n C_n \Delta^n f(y_n) \dots \dots \dots (6)$$

Pers. (6) memiliki bentuk

$$f(y) = \alpha_0 + \alpha_1 y + \alpha_2 y^2 + \dots + \alpha_n y^n \dots \dots (7)$$

Dimana $\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_n$ adalah parameter-parameter konstan secara praktis. Untuk carbon transducer, suku-suku polinomial dengan pangkat dua ke atas dalam pers (7) dapat diabaikan sehingga $f(y)$ dapat diplot ke dalam suatu persamaan linear yaitu

$$f(y) = \alpha_0 + \alpha_1 y \dots \dots \dots (8)$$

Substitusi pers. (3) ke dalam (4)

$$f(y) = \frac{I}{E} \dots \dots \dots (9)$$

Substitusi pers (19) ke dalam (20)

$$I = E (\alpha_0 + \alpha_1 y) \dots \dots \dots (10)$$

atau karena $I = I(t)$ untuk $y = y(t)$ maka dari pers. (10)

$$y(t) = \frac{1}{\alpha_1} \left(\frac{I(t)}{E} - \alpha_0 \right) \dots \dots \dots (11)$$

Dengan mendiferensiasikan pers (11) terhadap t diperoleh

$$\dot{y}(t) = \frac{\dot{I}(t)}{\alpha_1 E} \dots \dots \dots (12)$$

$$\ddot{y}(t) = \frac{\ddot{I}(t)}{\alpha_1 E} \dots \dots \dots (13)$$

Substitusi pers (11), (12) dan (13) h_0 dalam (2.5), diperoleh

$${}^{CT} \frac{m}{\alpha_1 E} \dot{y}(t) + \frac{C_T C_{vd}}{\alpha_1 E} \ddot{y}(t) + \frac{C_T C_S}{\alpha_1 E} I(t) - \frac{(C_T C_S \alpha_0)}{\alpha_1} = \ddot{m} \ddot{y}(t) \dots \dots \dots (14)$$

Dengan mengatur $y_0 = 0$ untuk $\Delta R = 0$ (diaphragma dalam posisi diam) maka dari pers. (3) dan (4)

$$\alpha_0 = f(y_0) = f(0) = \frac{I(0)}{E} = \frac{1}{R} \dots \dots \dots (15)$$

Substitusi pers. (15) ke dalam (10), diperoleh

$$I(t) = \frac{E}{R} + \frac{E \alpha y(t)}{R} \dots \dots \dots (16)$$

atau

$$I(t) = \frac{E}{R} + \frac{E cr(t)}{R} \dots \dots \dots (16.1)$$

atau

$$I(t) = \frac{E}{R} + I_{CT}(t) \dots \dots \dots (16.2)$$

Dimana:

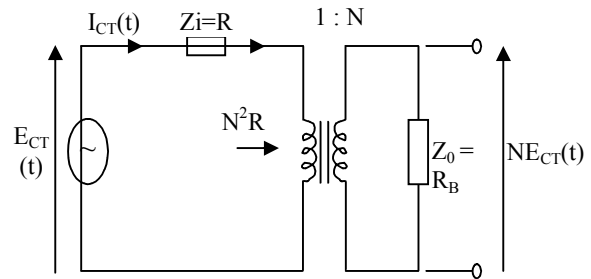
$$E_{CT}(t) = E \alpha y(t) \dots \dots \dots (16.3)$$

$$I_{CT}(t) = \frac{E_{CT}(t)}{R} \dots \dots \dots (16.4)$$

$$\alpha = \alpha_1 R \dots \dots \dots (16.5)$$

$E_{CT}(t)$ dan $I_{CT}(t)$, masing-masing dikatakan sebagai tegangan dan kuat arus output generator dari carbon transducer ke transformator dengan sumber arus DC.

Dengan menggunakan prinsip Ekivalen Thevenin, maka rangkaian output ekivalen dari input carbon transducer ke output transformator dapat dinyatakan seperti yang ditunjukkan dalam gambar 5.



Gambar 5. Rangkaian Output Ekivalen Antara Carbon Transducer Dan Transformator Dengan Sumber Arus DC

Pada transformator tegangan akan naik dari $E_{CT}(t)$ oleh faktor N menjadi $NE_{CT}(t)$ dan impedansi akan naik dari $z_i = R$ oleh faktor N^2 menjadi $N^2 Z_i = N^2 R$. Daya output di dalam suatu resistansi beban R_B yang dikopel melalui suatu rasio N untuk transformer balikan adalah [www.educypedia.be/2008-06-12].

$$P = [E_{CT}(t) / (R + N^2 R_B)] (N^2 R_B) \dots \dots \dots (17)$$

Jika dimisalkan $u = N^2 R_B / R$, maka dengan mendiferensiasikan $P(u)$ terhadap u dan membuat hasilnya sama dengan nol, diperoleh $u = 1$, sehingga

$$N^2 R_B = R \text{ atau } N = \sqrt{\frac{R}{R_B}} \dots \dots \dots (18)$$

Pers. (18) menyatakan suatu pilihan dimana daya output transformator adalah maksimum, atau dengan kata lain jika diinginkan tegangan output yang maksimum, maka dibuat resistansi beban setinggi mungkin. Dengan penggunaan transformator ini, arus DC tidak dipengaruhi dan masih dapat diatur untuk suatu level yang diperlukan. Dalam hal ini seperti ditunjukkan pada gambar 4, diberikan sebuah capacitor C yang dipasang secara paralel dengan tegangan sumber E.

3.4 Respon Dinamik Sistem Vibrameter

• Signal Input dan Output Oscilloscope

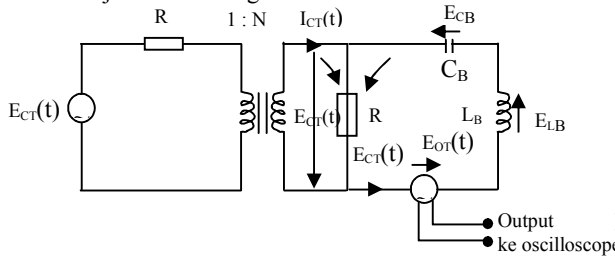
Substitusi pers. (16.3) ke dalam (16.4), diperoleh

$$y(t) = \frac{I_{CT}(t)}{E\alpha} \dots\dots\dots (19)$$

Substitusi pers. (19) ke dalam (2.5), diperoleh

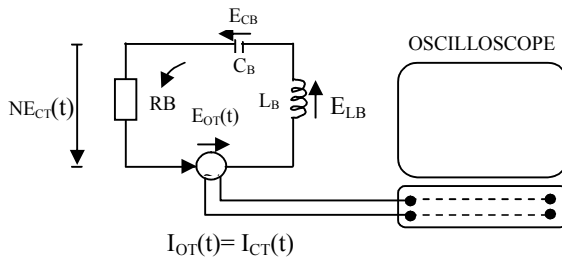
$$\frac{I_{CT}(t)}{E\alpha} + C_T \frac{C_{vd}}{E\alpha m} \ddot{I}_{CT}(t) + \frac{C_T C_S}{E\alpha m} I_{CT}(t) = \ddot{y}_s(t) \quad (20)$$

Misalkan output dari transformator dikopel dengan hubungan seri sebuah kapasitor dengan kapasitansi C_B dan sebuah induktor dengan induktansi L_B dan output dari rangkaian ini menjadi input sebuah oscilloscope, seperti ditunjukkan dalam gambar 6.



Gambar 6. Rangkaian Output Transformator Yang Dikopel dengan Hubungan Seri C_B dan L_B

Secara ekivalen diperoleh suatu loop rangkaian sebagaimana ditunjukkan dalam gambar 7.



Gambar 7. Rangkaian Seri R_B C_B L_B Untuk Tegangan Output $E_{OT}(t)$ ke Oscilloscope

Jika $E_{OT}(t)$ adalah tegangan output rangkaian R_B L_B , maka berdasarkan hukum Kirchoff

$$\left. \begin{aligned} E_{OT}(t) &= E_{RB}(t) + E_{CB}(t) + E_{LB}(t) \\ I_{OT}(t) &= I_{RB}(t) = I_{CB}(t) = I_{LB}(t) = I_{CT}(t) \end{aligned} \right\} (21)$$

$$E_{RB}(t) = NE_{CT}(t) = R_B I_{RB}(t) \dots\dots\dots (22)$$

$$E_{CB}(t) = \frac{Q}{C_B} \dots\dots\dots (23)$$

Dimana Q = jumlah muatan kapasitor C_B

$$E_{LB}(t) = \dot{I}_{LB}(t) \dots\dots\dots (24)$$

Maka dengan substitusi pers. (22), (23) dan (24) ke dalam (21) diperoleh

$$E_{OT}(t) = R_B I_{RB}(t) + \frac{Q}{C_B} + \dot{I}_{LB}(t) \dots (25)$$

Dengan mendefereinsiasikan pers. (25) diperoleh

$$\dot{E}_{OT}(t) = L_B \ddot{I}_{CT}(t) + \frac{I_{CT}(t)}{C_B} + R_B I_{CT}(t) \dots (26)$$

Dimana $\dot{I}_{CR}(t) = \dot{Q}(t)$

Dengan menyamakan pers. (20) dan (26) diperoleh

$$E_{OT}(t) = \ddot{y}_s(t) \dots\dots\dots (27.1)$$

atau

$$E_{OT}(t) = \dot{y}_s(t) \dots\dots\dots (27.2)$$

$$L_B = \frac{C_T}{E\alpha m} \dots\dots\dots (27.3)$$

$$C_B = \frac{E\alpha m}{C_T C_{vd}} \dots\dots\dots (27.4)$$

$$R_B = \frac{C_T C_S}{E\alpha m} \dots\dots\dots (27.5)$$

Dari pers. (27.2) dapat dilihat bahwa tegangan arus pada oscilloscope adalah sama dengan respon percepatan getaran pipa vortex flow meter dengan mengatur L_B , L_B dan R_B sebagaimana ditunjukkan pada (27.3), (27.4) dan (27.5). Dengan mengintegrasikan $E_{OT}(t)$ dalam pers. (27.2) diperoleh respon kecepatan getaran pipa flow meter $\dot{y}_s(t)$ yaitu

$$\dot{y}_s(t) = \dot{y}_s(0) + \int_0^t E_{OT} dt \dots\dots\dots (27.6)$$

Dengan mengintegrasikan pers. (27.6) diperoleh respon perpindahan pipa vortex flow meter yaitu :

$$y_s(t) = y_s(0) + \dot{y}_s(0)t + \int_0^t E_{OT} dt \dots\dots\dots (27.7)$$

Jika $y_s(t)$ adalah suatu fungsi periodik maka $E_{OT}(t)$ juga adalah suatu fungsi periodik jika $E_{OT}(t)$ bukan merupakan suatu fungsi periodik, maka $E_{OT}(t)$ diestimasi dengan menggunakan metode random signal sedemikian hingga diperoleh rata-rata periodiknya. Oleh karena itu $E_{OT}(t)$ dapat dibawa ke dalam suatu analisis harmonik, yaitu dengan mengekspansikannya dalam suatu deret fourier. Untuk menyelesaikan ini secara cepat dan elegan, data-data tampilan $E_{OT}(t)$ pada oscilloscope perlu ditransfer ke dalam program aplikasi computer untuk analisis fourir yaitu dengan menggunakan Fast Fourier Transform (FFT). Hasilnya akan diketahui $\dot{y}_s(t)$, $\dot{y}_s(t)$, $y_s(t)$, gaya eksitasi getaran pipa $F(t)$ dan semua modus frekuensi eksitasi getaran pipa vortex flowmeter.

3.5 Respon Impuls Vibrameter

Pers. (26) dalam kondisi pers. (27.2) hingga (27.5) dapat dikatakan sebagai suatu model respon sistem vibrameter karena telah menghubungkan parameter-parameter input dan output. Di dalam kasus continuous time, respons impuls dapat secara sama dikonstruksikan untuk penentuan kondisi awal persamaan homogen (Respon oskilasi bebas) untuk $t > 0$. Untuk itu misalkan respons impuls h adalah respon terhadap fungsi delta diract $-\delta$ dari keadaan diam dan memenuhi $Q(D) h = P(D)-\delta$, sementara $h(t) = 0$ untuk $t < D$. Maka di dalam kasus khusus diperoleh untuk pers. (26).

Respon impuls memiliki bentuk [Kwakernaak, at all., 1991].

$$h(t) = \sum_{i=1}^N \alpha_i y_i(t) 1(t) + \sum_{i=0}^{M-N} \beta_i S^{(i)}, \quad t \in \mathbb{R} \dots\dots(28)$$

Dimana : αI dan Poi adalah konstanta yang sesuai

- N = orde $Q(D) h$
- M = orde $P(D) \delta$
- Y_i = penyelesaian N basis untuk persamaan homogen $Q(D) y = 0$ pada $y \in \mathbb{R}$
- $1(t)$ = Unit step signal
- $1(t) = \begin{cases} 0, & \text{untuk } t < 0 \\ 1, & \text{untuk } t \geq 0 \end{cases}, \quad t \in \mathbb{R}$

Dari pers. (28) dan (29) $M-N = 0$, sehingga respons impuls memiliki bentuk

$$h(t) = h_0 1(t) + \beta \delta(t), \dots\dots\dots(30)$$

Dimana

- h_0 = penyelesaian persamaan homogen pada \mathbb{R}
- β = konstanta yang ditentukan

Dengan mendefederensiasi dua kali dan menerapkan aturan perkalian diperoleh

$$\left. \begin{aligned} h^{(1)} &= h_0^{(1)} 1 + h_0^{(0)} \delta + \beta \delta^{(1)} \\ h^{(2)} &= h_0^{(2)} 1 + h_0^{(1)} \delta + \beta \delta^{(2)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(31)$$

Substitusi pers. (30) dan (31) ke dalam (28) diperoleh

$$L_B \left[h_0^{(2)} 1 + h_0^{(1)} \delta + h_0^{(0)} \delta^{(2)} \right] + \frac{1}{C_B} \left[h_0^{(1)} 1 + h_0^{(0)} \delta + \beta \delta^{(1)} \right] + R_B \left[h_0 1 + \beta \delta \right] = \delta^{(2)} \dots\dots\dots(32)$$

Dengan menyamakan koefisien-koefisien untuk $\delta^{(2)}$, $\delta^{(1)}$, δ dan 1 terhadap ruas kiri dan kanan pers. (32)

$$\delta^{(2)} : L_B \beta = 1 \dots\dots\dots(33.1)$$

$$\delta^{(1)} : L_B h_0(0) + \frac{\beta}{C_B} = 0 \dots\dots\dots(33.2)$$

$$\delta : L_B h_0^{(1)}(0) + \frac{h_0(0)}{C_B} \beta R_B = 0 \dots\dots(33.3)$$

$$1 : L_B h_0^{(2)} + \frac{1}{cb} h_0^{(1)} + R_B h_0 = 0 \dots\dots(33.4)$$

Pers. (33.4) dipenuhi oleh karena dengan asumsi h_0 adalah penyelesaian homogen pers. (28). Dari pers. (33.1) hingga (33.4) diperoleh :

$$\beta = \frac{1}{L_B} \dots\dots\dots(33.5)$$

$$h_0(0) = - \frac{1}{L_B^2 C_B} \dots\dots\dots(33.6)$$

$$h_0^{(1)}(0) = - \frac{R_B}{L_B C_B} \left(1 - \frac{1}{R_B C_B L_B^2} \right) \dots\dots(33.7)$$

Dengan menuliskan ξ dan ω_n masing-masing sebagai

$$\xi = 4 C_B^2 R_B L_B \text{ dan } \omega_n = \frac{1}{2 C_B L_B} \dots\dots(33.8)$$

Maka penyelesaian homogen untuk pers. (28), yaitu h_0 memiliki bentuk umum masing-masing untuk kondisi $\xi < 1$ (teredam lebih), $\xi = 1$ (teredam kritis) dan $\xi > 1$ (kurang teredam)

$$h_0|_{\xi < 1} = a e^{r_1 t} + B e^{r_2 t} \dots\dots\dots(34)$$

Dimana :

$$\left. \begin{aligned} r_1 &= -\omega_n (1 - \sqrt{1 - \xi}) \\ r_2 &= -\omega_n (1 + \sqrt{1 - \xi}) \\ B &= \frac{r_1 h_0(0) - h_0^{(1)}(0)}{2\omega_n \sqrt{1 - \xi}} \end{aligned} \right\}$$

$$h_0|_{\xi = 1} = (A t B t) e^{-\omega_n t} \dots\dots\dots(35)$$

Dimana :

$$\left. \begin{aligned} A &= h_0(0) \\ B &= \frac{[\omega_n h_0(0) + h_0^{(1)}(0)]}{\omega_n} \dots\dots(35.1) \end{aligned} \right\}$$

$$h_0|_{\xi > 1} = \sqrt{A^2 + B^2} e^{-\omega_n t} - \sin(\sqrt{\xi - 1} t \phi) \dots\dots(36)$$

Dimana

$$\left. \begin{aligned} A &= h_0(0). \\ B &= \frac{h_0(0) + \omega_n h_0^{(1)}(0)}{\sqrt{\xi - 1}} \end{aligned} \right\} \dots\dots(36.1)$$

Dengan menggunakan β dari pers. (32.1), $h_0(0)$ dari pers. (32.2) dan $h_0^{(1)}(0)$ dari pers. (32.3), maka respon impuls $h(t)$ untuk masing-masing ξ : dapat diperoleh dengan mensubstitusi pers. (34), (35) dan (36) ke dalam pers. (30).

• **Respon Frekuensi Vibrameter**

Vibrameter net work ditunjukkan oleh rangkaian $R_B C_B L_B$ dalam pers. (26) dengan syarat pers. (27.1) hingga (27.5). Polynomial-polynomial Q dan P untuk persamaan ini diberikan oleh :

$$\left. \begin{aligned} Q(\lambda) &= L_B \lambda^2 + \frac{1}{C_B} \lambda + R_B \\ P(\lambda) &= \lambda^2 \end{aligned} \right\} \dots (37)$$

Kutub-kutub sistem adalah akar-akar karakteristik.

$$\lambda_{1,2} = -\omega_n (1 \pm \sqrt{1 - \xi^2}) \dots (37.1)$$

Dimana ξ dan ω_n sesuai dengan pers. (33) jika $\xi \geq 1$ kedua kutub adalah real dan negatif. Jika $\xi > 1$ kutub-kutub membentuk pasangan konjugat dengan bagian real $-\omega_n$. Di dalam kasus kutub-kutub memiliki batasan bagian-bagian real yang negatif, sedemikian hingga fungsi respon frekuensi $h(f)$ berharga diberikan oleh [Kovakernak et al, 1991].

$$h(f) = \frac{P(j2\pi f)}{Q(j2\pi f)} = \frac{-4\pi^2 f^2}{(R_B - L_B 4\pi^2 f^2) + \frac{j2\pi f}{C_B}}, \quad f \in R \dots (38)$$

Dari pers. (38) diperoleh frekuensi resonansi W_r dan faktor kualitas q yaitu

$$\left. \begin{aligned} \omega_r &= \sqrt{\frac{R_B}{L_B}} \\ q &= C_B \omega_r \end{aligned} \right\} \dots (39)$$

Di dalam suku-suku W_r dan q dari net work pers. (38) dapat ditulis sebagai .

$$\bar{h}\left(\frac{\omega}{2\pi}\right) = \frac{P(j\omega)}{Q(j\omega)} = \frac{-\omega^2/\omega_r^2}{L_B\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_r^2}\right) + \frac{j\omega}{\omega_r q}}, \quad \omega \in R \dots (40)$$

Dimana :

$$\begin{aligned} \omega &= \text{frekuensi angular} \\ \omega &= 2\pi f \end{aligned}$$

Magnitude dan phase untuk \bar{h} menentukan respon network $R_B C_B L_B$ pada saat awal yang diam terhadap harmonik-harmonik real, dan diberikan oleh

$$\left| \bar{h}(\omega/2\pi) \right|^2 = \frac{\omega^4/\omega_r^4}{L_B^2 \left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_r^2}\right)^2 + \frac{\omega^2}{\omega_r^2 q^2}} + \pi, \quad 0 < \frac{\omega}{\omega_r} \leq 1 \dots (41)$$

$$\arg(\bar{h}(\omega/2\pi)) = -\tan^{-1} \left[\frac{\omega/\omega_r q}{L_B \left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_r^2}\right)} \right], \quad \omega/\omega_r > 1 \dots (42)$$

3.6 Sensitifitas Transducer

Dengan mensubstitusi $y(t)$ dari pers. (2.1) ke dalam pers. (16.3).

$$\begin{aligned} \Delta P.A_D &= C_{SD} \frac{E_{CT}(t)}{E\alpha}, \text{ atau} \\ S &= \frac{E_{CT}(t)}{\Delta P} = \frac{E\alpha A_D}{C_{SD}} \dots (43) \end{aligned}$$

Dimana S didefinisikan sebagai sensitifitas diaphragma transducer yang mana menyatakan rasio antara tegangan generator carbon transducer $E_{CT}(t)$ dan over pressure partikal udara dan gelombang bunyi pada diaphragma ΔP .

3.7 Limit Getaran Vibrameter

Suatu network untuk vibrameter memiliki range daerah operasi yang tertentu yang mana meliputi amplitude perpindahan, kecepatan dan percepatan serta frekuensi angular maksimum dan minimum. Dalam suatu design vibrameter masalah ini merupakan suatu constrain dan dimasukkan sebagai pertimbangan awal. Oleh karena itu dalam hal penerapan vibrameter pada pipa vortex flow meter adalah penting untuk mengetahui limit-limit getaran pada sistem-sistem pipa yang baik. Sehubungan dengan itu PULSIM™ (Bokhorst at all, 1995) merekomendasikan bahwa di dalam design suatu instalasi perpipaan limit kecepatan respon adalah 20 mm/S Peak (atau amplitude percepatan: 0,25 g peak pada 1000 Hz).

IV. PENUTUP

4. 1 Kesimpulan

suatu komponen kantilever dan carbon transducer dapat dikonstruksikan sedemikian untuk difungsikan sebagai vibrameter vortex flowmeter dalam arah horizontal, vertical dan aksial. Kontruksi tersebut diperoleh dengan memperhatikan mechanical properties dan sensitivity dari masing-masing material komponen tersebut.

4.2 Saran

Dari hasil analisis persamaan getaran dan parameter-parameternya sebagaimana dikemukakan, suatu ukuran model visul vibrameter vortex flowmeter dengan sistim kantilever dan carbon transducer dapat ditentukan sendiri.

DAFTAR PUSTAKA:

1. Bokhorst E. van., Peters M.C.A.M., and Lipens C.H.L., **“Impact of Pipe Vibrations on Vortex Flowmeter under Operating Conditions”**, 4th, International Symposium on Fluid Flow Measurement, Denver Colorado USA, June 27-03-1999.
2. Bokhorst E. Van., Korst H.J., Smeulers J.P.M. (1995) **PULSIM3, a program for the design optimization of pulsation dampers and pipe system**. Proceedings Euro-Noise’ 95 pp 751-757, Lyon, France 21 – 23 March 1995.
3. Kwakernaak Huibert, Sivan Raphael, Strijbos Rens C.W., **“Modern Signals And Systems”**, Prentice-Hall International, Inc., A Division of Simon & Schuter Englewood Cliffs, New Jersey07632, 1991.
4. Unnonymous, undo Internet Archieve Way Back Machine, <http://www.educyclopedia.be/electronics/micropneatypes.htm>. **“Microphone”**, Last updated 2008-06-12.