

MODEL MATEMATIK ALAT PENYERAP KEJUTAN MOBIL YANG MENGGUNAKAN PADUAN *SHAPE MEMORY*

Muhammad Natsir

Pusat Pengembangan Teknologi Keselamatan Nuklir-BATAN
Kawasan Puspipetek Serpong Tangerang

ABSTRAK

MODEL MATEMATIK ALAT PENYERAP KEJUTAN MOBIL YANG MENGGUNAKAN PADUAN *SHAPE MEMORY*. Telah disusun model matematik alat penyerap kejut yang menggunakan paduan *Shape memory*. Paduan *shape memory* merupakan paduan yang memiliki sifat yang unik dan mempunyai aplikasi yang luas. Paket Program Simulasi Tak Linier (*SIMNON*) digunakan untuk mengolah model matematik tersebut. Hasil perhitungan simulasi menunjukkan bahwa secara teoritis aplikasi paduan *shape memory* pada alat penyerap kejut adalah layak. Hal ini terlihat bahwa walaupun temperatur naik, koefisien redam konstan.

Kata kunci : Model Matematik, Alat Penyerap Kejut Mobil, Paduan *Shape Memoey*

ABSTRACT

MATHEMATICAL MODEL OF AUTOMOBILE SHOCK ABSORBER USING *SHAPE MEMORY ALLOYS*. Mathematical model equation of shock absorber using *Shape memory Alloys (SMA)* has been done. *Shape memory alloys* are alloy with unique properties and have large applications. *Simulation Non Linear (SIMNON)* package program is used to solve the mathematical model. The results shown theoretically the application *shape memory* alloy on shock absorber is feasible. It is concluded from the results that the temperature increase does not change the damping coefficient.

Key words : Mathematical Model, Automobhile Shock Absorber, Shape Memory Alloy

PENDAHULUAN

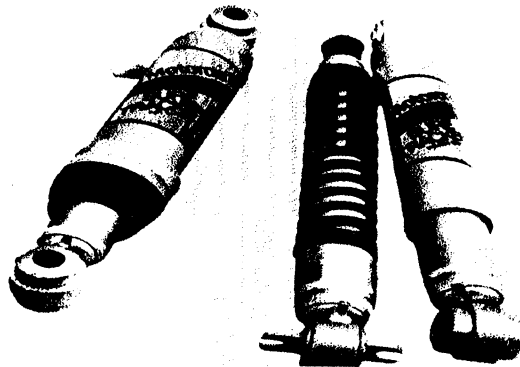
Paduan *shape memory* mempunyai kelakuan yang sangat unik menurut Muhammad Natsir dan Agustanhakri [1]. Setelah mengalami deformasi yang cukup besar paduan ini memiliki kemampuan untuk kembali ke bentuk awalnya setelah diberi panas. Salah satu aplikasi paduan *shape memory* dalam bidang otomotif khususnya alat penyerap kejut mobil. Paduan *shape memory* berguna untuk meningkatkan prestasi dari alat penyerap kejut merupakan salah satu aplikasi teknik yang sangat menjanjikan. Aplikasi paduan *shape memory* pada alat penyerap kejut dapat mengatasi keterbatasan alat penyerap kejut mobil yang ada saat ini. Keterbatasan alat tersebut khususnya pada bagian redam fluidanya (*dashpot fluid*) yang harus menggunakan minyak pelumas jenis *Silicone Oil* di dalam silindernya. Menurut Frank Yeaple [2] *Silicone Oil* merupakan jenis minyak pelumas yang memiliki ketahanan terhadap perubahan temperatur yang tinggi, namun demikian harganya mahal. Disamping itu juga minyak pelumas tersebut harus diganti bila telah digunakan

dalam waktu yang lama karena viskositasnya telah menurun sehingga cairannya encer. Akibatnya gaya redam minyak pelumas menjadi menurun. Dengan aplikasi paduan *shape memory* pada alat tersebut, maka masalah tersebut dapat diatasi. Tulisan ini dibatasi pada penurunan model matematik disertai dengan simulasi model tersebut dengan menggunakan paket program *Simnon*. Penurunan model matematik diarahkan untuk mendapatkan persamaan yang mengandung variabel temperatur fluida (T), diameter lubang kecil (d_c) dan koefisien viskositas fluida.

Paket program *Simnon* dapat mengolah persamaan-persamaan yang berbentuk tidak linier dan hasil simulasinya ditampilkan dalam bentuk grafik. Program ini merupakan paket program yang didisain oleh SSPA Maritime Consulting AB Swedia.

TEORI DASAR

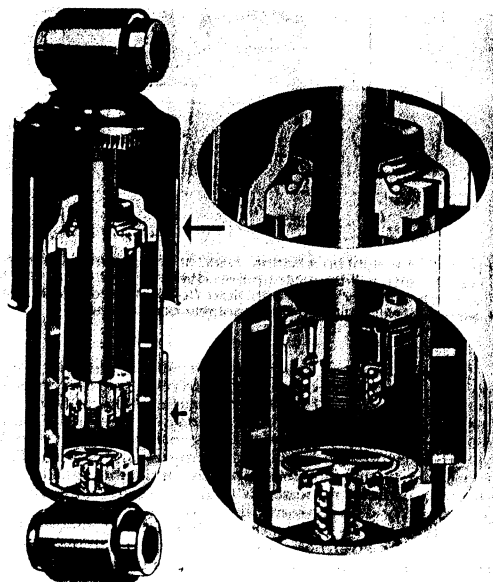
Alat penyerap kejut yang digunakan pada mobil ada bermacam-macam tipenya menurut William H.Crouse



Gambar 1. Beberapa tipe alat penyerap kejutan mobil : kiri, menggunakan gas;kanan, untuk beban berat ; tengah, menggunakan pegas.

dan Donald L. Anglin [3], yaitu seperti diperlihatkan pada Gambar 1.

Bentuk konstruksi alat penyerap kejutan diperlihatkan pada Gambar 2. Mekanisme kerja alat penyerap kejutan ini sebagai berikut : Apabila mobil berada pada permukaan jalan yang tidak rata, maka piston pada alat penyerap kejutan ini akan bergerak ke bawah lalu keatas, pada saat piston bergerak ke bawah maka cairan fluida akan bergerak keatas melalui lubang kecil pada piston (*orifice*) demikian pula jika piston bergerak ke atas maka cairan fluida akan bergerak ke bawah melalui lubang kecil. Gerakan naik turunnya piston dan cairan fluida ini setelah jangka waktu yang cukup lama akan menyebabkan naiknya temperatur cairan fluida sehingga koefisien viskositas cairan fluida menurun yang juga berakibat menurunnya kemampuan redam cairan tersebut.



Gambar 2. Bentuk konstruksi alat penyerap kejutan mobil

Persamaan sistem alat penyerap kejutan mobil

Penyerap kejutan pada mobil terdiri dari sistem pegas dan sistem redam cairan (*dashpot fluid*). Persamaan sistem penyerap kejutan adalah sebagai berikut :

$$m.\ddot{x} + c.\dot{x} + k.x = F_o.\sin \omega.t. \quad (1)$$

dengan :

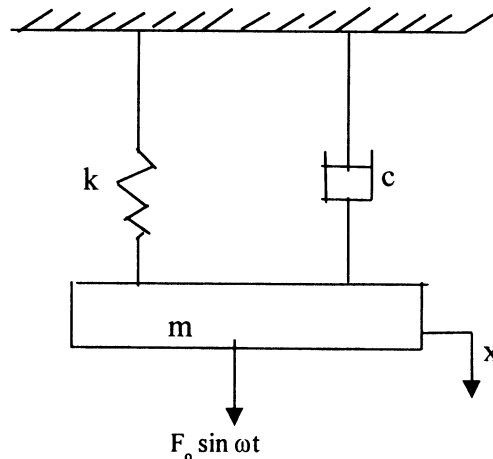
- c = koefisien redam fluida (tanpa satuan)
- k = konstanta pegas (Newton/meter)
- F_o = Gaya luar (Newton)
- x = gerakan perpindahan (meter)
- t = waktu (detik)

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = \text{frekuensi . pribadi (1 / detik)}$$

m = massa benda (kg)

$$\ddot{x} = \frac{d^2x}{dt^2}; \dot{x} = \frac{dx}{dt}$$

Pada Gambar 3 diperlihatkan skema sistem alat penyerap kejutan mobil.



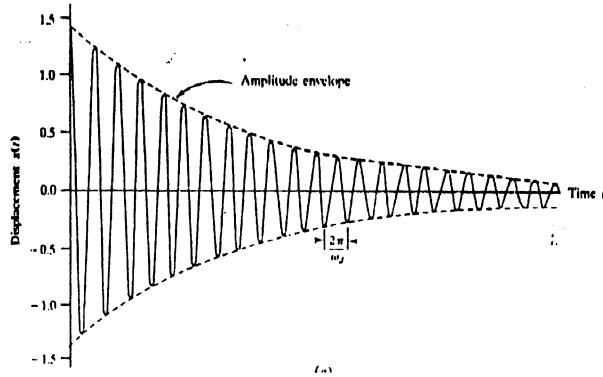
Gambar 3. Skema sistem penyerap kejutan

Solusi dari persamaan 1 menurut T.D. Burton [4] dapat digambarkan dalam bentuk grafik hubungan antara gerakan perpindahan (x) akibat getaran dengan waktu (t) seperti diperlihatkan pada Gambar 4.

Aplikasi paduan *shape memory* pada alat penyerap kejutan mobil

Fluida yang mengalir dalam lubang kecil pada piston alat penyerap kejutan akan dioptimumkan

Model Matematik Alat Penyerap Kejut Mobil Yang Menggunakan Paduan Shape Memory (Muhammad Natsir)

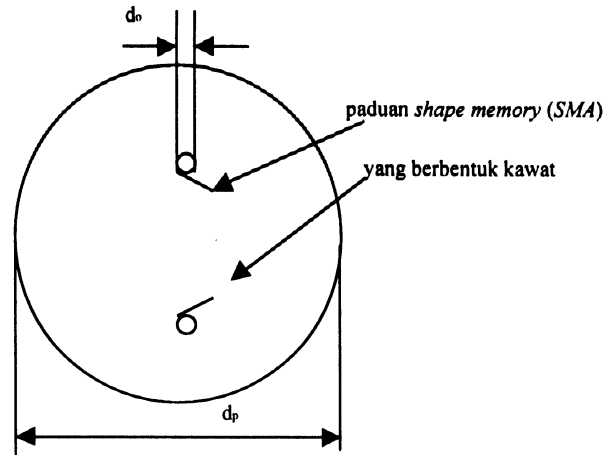


Gambar 4. Grafik hubungan gerakan perpindahan (x) dan waktu (t)

penggunaannya dengan cara membesarkan dan mengecilkan diameter lubang tersebut. Teknologi yang diterapkan pada penelitian ini adalah dengan cara menempatkan paduan *shape memory* yang berbentuk kawat (*wire*) di depan lubang yang kecil tersebut. Penempatannya dilakukan dengan proses *brazing*. Menurut William H.Crouse dan Donald L.Anglin [5] proses *brazing* merupakan proses yang serupa dengan proses penyolderan hanya saja temperatur leleh dari batang pengisinya (*filler rod*) diatas 450 (°C), sedangkan pada proses penyolderan temperatur leleh dari batang pengisinya dibawah 450 (°C). Gerakan naik-turun piston pada alat penyerap kejut akan menyebabkan temperatur fluida meningkat sehingga koefisien viskositas fluida dalam silinder menurun menurut Dudley D.Fuller [6], tetapi peningkatan temperatur fluida ini menyebabkan paduan *shape memory* kembali ke bentuk asalnya serta menutup sebahagian lubang kecil. Walaupun koefisien viskositas fluida menurun tetapi diameter lubang kecil (*orifice*) juga menurun sehingga cairan yang melalui lubang kecil (*orifice*) menjadi berkurang. Dengan demikian koefisien redam fluida dapat dijaga tetap konstan (stabil). Apabila koefisien redam fluida konstan, maka gaya redam fluida juga akan konstan. Pada Gambar 5 diperlihatkan gambar piston dari alat penyerap kejut mobil yang memiliki 2 (dua) buah lubang kecil (*orifice*) serta penempatan paduan *shape memory* (*SMA*) di depan lubang tersebut.

Penurunan model matematik

Dalam penurunan model matematik dari sistem penyerap kejut mobil terlebih dahulu harus diketahui proses-proses apa saja yang terjadi di dalam sistem tersebut. Proses - proses tersebut meliputi ; proses perpindahan panas, mekanika fluida dan getaran. Untuk lebih memudahkan dalam menurunkan rumus, maka diasumsikan bahwa perpindahan panas dari dalam silinder ke dinding luar silinder diabaikan dan sistem yang terjadi dalam silinder diasumsikan adalah proses isotermis sehingga berlaku persamaan berikut :



Gambar 5. Aplikasi paduan *shape memory* pada diameter lubang yang kecil dengan : d_o = diameter lubang kecil (mm); d_p = diameter piston (mm)

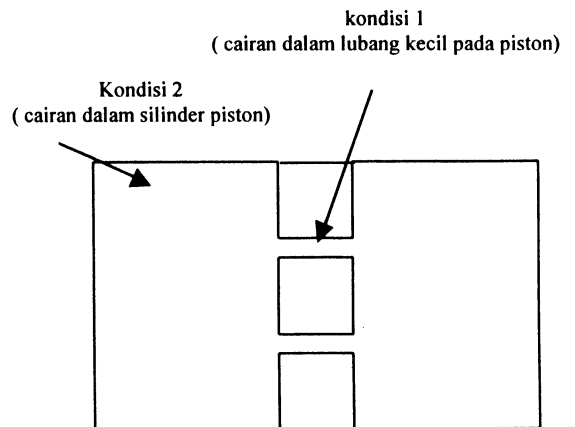
Menurut G. Boxer [7] Hukum Pertama Termodinamika sebagai berikut :

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m} \cdot (X) \tag{2}$$

Dimana :

$$X = (h_2 - h_1) + 1/2(v_2^2 - v_1^2) + g(z_2 - z_1) \tag{3}$$

Untuk mengetahui keadaan (kondisi) 1 dan keadaan 2, maka ditinjau kondisi cairan yang mengalir di dalam silinder alat penyerap kejut. Skema silinder tersebut dan arah aliran minyak pelumas dari kondisi 2 (dalam silinder) ke kondisi 1(dalam lubang kecil) diperlihatkan pada Gambar 6. Pergerakan cairan tersebut diakibatkan oleh getaran yang timbul akibat permukaan jalan yang tidak rata.



Gambar 6. Volume kontrol (control volume) pada sistem alat penyerap kejut

Apabila piston bergerak ke kiri , maka cairan fluida mengalir dari kondisi 2 ke kondisi 1 dengan :

$v_2 \cong 0$ yaitu kecepatan cairan silinder mengalir ke kondisi 1, dianggap $v_2 = 0$, karena ukuran lubang sangat kecil dibandingkan ukuran diameter piston.

v_1 = kecepatan piston (meter/detik)
 $h_1 = h_2$ = Entalpi keadaan T_1 dan T_2 (Joule/kg)
 \dot{m} = Laju aliran massa (kg/detik)
 $z_1 = z_2$ = posisi cairan terhadap acuan (horisontal)
 g = percepatan gravitasi (meter/detik²)

$$\dot{Q} = \frac{dQ}{dt} = m_f \cdot c_f \cdot \left(\frac{dT}{dt} \right)$$

\dot{Q} = panas yang timbul (Joule/detik)
 m_f = massa fluida (kg)
 c_f = panas spesifik (Joule/kg°C)
 dT/dt = Laju perubahan temperatur (°C/detik)

$$\dot{W} = \frac{dW}{dt} = \left(\frac{dW_p}{dt} \right) - \left(\frac{dW_f}{dt} \right)$$

\dot{W} = Kerja (Joule/detik) dan berdasarkan volume kontrol diketahui bahwa kerja yang dilakukan oleh piston positif (+) sedangkan kerja yang dilakukan fluida negatif (-).

Menurut Roger dan Mayhem [8] jika fluida diasumsikan tak mampat (*incompressible*), maka V = Volume = konstan dan berlaku persamaan sebagai berikut :

$$dW_p/dt = V (dp/dt) \quad (4)$$

dimana :
 dW_p/dt = Kerja yang dilakukan oleh piston (Joule/detik)
 dengan :

$V = \pi \cdot d^2/4 \cdot L$ = Volume piston (m³).
 d = diameter piston (meter).
 L = Lebar piston (meter).
 dp/dt = Laju perubahan tekanan (Newtom/m².detik)
 $dW_f/dt = (dF/dt) \cdot (x)$ = Kerja yang dilakukan oleh fluida (Joule/detik), dimana :
 $dF/dt = 2 \cdot (d\tau/dt) \cdot As$.
 dF/dt = Laju perubahan gaya geser fluida dalam lubang kecil (Newton/detik)
 $As = 2 \cdot \pi \cdot (ro) \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot (do/2) \cdot L$
 As = Luas selimut dalam lubang kecil (*orifice*) (m²)
 L = Lebar piston (meter)
 do = diameter lubang kecil (meter)
 x = L = panjang piston (meter)

Menurut Hukum Mekanika Fluida berlaku rumus sebagai berikut :

$$d\tau/dt = d\mu/dt \cdot (dv/dy) = (d\mu/dt) \cdot v_1/L \quad (5)$$

dimana:

$d\tau/dt$ = Laju perubahan tegangan geser fluida (Newton/m².detik)

Persamaan viskositas yang berkaitan dengan perubahan temperatur yang digunakan adalah persamaan viskositas Reynolds menurut A. Cameron dan C.M.Mc.Ettles [9] sebagai berikut :

$$d\mu/dt = \mu_0 \cdot e^{-\eta \Delta T} \cdot (-\eta dT/dt) \quad (6)$$

dimana :

$d\mu/dt$ = Laju perubahan koefisien viskositas (Newton.detik/m².detik)
 η = konstanta perubahan viskositas terhadap temperatur.
 ΔT = Perubahan temperatur.

Dengan mensubstitusi seluruh variabel ke persamaan 2 diperoleh :

$$m_f \cdot c_f \cdot \frac{dT}{dt} + V \cdot \frac{dp}{dt} - 2 \cdot \pi \cdot do \cdot L \cdot v_1 \cdot \mu_0 \cdot e^{-\eta \Delta T} \left(-\eta \cdot \frac{dT}{dt} \right) = \dot{m} \{ (h_2 - h_1) + 0,5 \cdot v_1^2 \} \quad (7)$$

apabila sisi kiri persamaan 7 kita misalkan dengan R , maka persamaan diatas menjadi :

$$\dot{m} = C_0 \left[\frac{R}{\Delta h + 0,5 \cdot v_1^2} \right] = \rho \cdot A \cdot v_1 = \rho \cdot A \cdot \dot{x} \quad (8)$$

dengan : C_0 = koefisien lubang kecil (tanpa satuan),

$$\dot{m} = \rho \cdot A \cdot \dot{x} = \text{debit (kg/s)}$$

Menurut John K.Vennard dan Robert L.Street [10] berlaku rumus yaitu :

$$C_0 = \frac{C_v \cdot C_c}{\sqrt{1 - C_c^2 \left(A_o/A \right)^2}}$$

dengan :

$v_1 = \chi$
 v_1 = kecepatan piston (m/s)
 ρ = densitas fluida (kg/m³), karena mengalami perubahan akibat kenaikan temperatur maka berubah menjadi : $dp/dt = \Delta\rho/\Delta t$
 A_o = luas lubang kecil (m²)
 A = luas piston (m²)
 C_v = koefisien kecepatan
 C_c = koefisien kontraksi (contraction coefficient)

Dari persamaan 8 diperoleh :

$$\Delta p = \left\{ \frac{\Delta \rho (\Delta h + 0,5 \cdot \dot{x}^2)}{L \cdot C_o} - \frac{8 \cdot d_o \cdot \eta \cdot \Delta T \cdot \mu_o \cdot e^{-\eta \cdot \Delta T}}{d^2} - \frac{4 \cdot m_f \cdot c_f \cdot \Delta T}{\pi \cdot d^2 \cdot L \cdot \dot{x}} \right\} \cdot \dot{x} \dots \dots \dots \left(\frac{N}{m^2} \right) \quad (9)$$

Persamaan gerakan dari peredam fluida (dashpot fluid) tanpa peredam pegas adalah :

$$m \cdot \ddot{x} = -(\Delta p) \cdot A \dots \dots \dots (N) \quad (10)$$

Masukkan persamaan 9 ke persamaan 10, sehingga diperoleh :

$$m \cdot \ddot{x} + \left\{ \frac{\Delta \rho \cdot \pi \cdot d^2 (\Delta h + 0,5 \cdot \dot{x}^2)}{4 \cdot L \cdot C_o} - 2 \eta \cdot \Delta T \cdot \pi \cdot d_o \cdot \mu_o \cdot e^{-\eta T} - \frac{m_f \cdot c_f \cdot \Delta T}{L \cdot \dot{x}} \right\} \cdot \dot{x} = 0 \quad (11)$$

Asumsi :

- Tekanan tidak terpengaruh oleh perubahan temperatur.
- Fluida bersifat tidak kompresibel sehingga V (volume) konstan.

Dari persamaan model matematik yang diperoleh pada persamaan 11, dapat disimulasi jenis getaran bebas dan getaran paksa menurut Cyril M. Harris [11] sebagai berikut:

- Getaran bebas :

$$m \cdot \ddot{x} + F_D + k \cdot x = 0$$

- Getaran paksa (yang sebenarnya terjadi) :

$$m \cdot \ddot{x} + F_D + k \cdot x = F_o \cdot \sin \omega t$$

dengan :

- F_D = Gaya peredam fluida (N)
- $F_D = c \cdot \dot{x}$
- c = Koefisien peredam fluida
- $F_k = k \cdot x$ = Gaya peredam pegas (N)
- k = Konstanta pegas (N/m)
- F_o = Gaya luar yang menimbulkan kejut (N)
- $\omega = \sqrt{k/m}$ = Frekuensi pribadi (1/s)
- m = massa benda (kg)

PEMBAHASAN

Simulasi model matematik

Model matematik yang diperoleh selanjutnya disimulasikan dengan menggunakan program *Simnon* (*simulation non linear*). Dengan program ini maka persamaan 9 dapat secara langsung disimulasikan walaupun tanpa peredam pegas.

Tahapan-tahapan dalam pensimulasian sebagai berikut [12]:

- a. Memasukkan persamaan sistem
- b. Simulasi
- c. Analisis Hasil
- d. Perubahan parameter dan kondisi awal

a. Memasukkan persamaan sistem

Persamaan 11 diubah menjadi sebagai berikut :

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + \left[\frac{\Delta \rho \cdot \pi \cdot d^2 \left(\Delta h + \frac{1}{2} \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 \right)}{4 \cdot m \cdot L \cdot C_o} - \frac{2 \cdot \eta \cdot \Delta T \cdot \pi \cdot d_o \cdot \mu_o \cdot e^{-\eta \Delta T}}{m} - \frac{m_f \cdot c_f \cdot \Delta T}{m \cdot L \cdot \left(\frac{dy}{dt} \right)} \right] \cdot \frac{dy}{dt} = 0 \quad (12)$$

Jika,

$$x = \frac{dy}{dt}$$

Sehingga persamaan 12 menjadi :

$$\frac{dx}{dt} = x \left[\frac{m_f \cdot c_f \cdot \Delta T}{m \cdot L \cdot x} + \frac{2 \eta \cdot \Delta T \cdot \pi \cdot d_o \cdot \mu_o \cdot e^{-\eta \Delta T}}{m} - \frac{\Delta \rho \cdot \pi \cdot d^2 \left(\Delta h + \frac{1}{2} \cdot x^2 \right)}{4 \cdot m \cdot L \cdot C_o} \right] \quad (13)$$

Selanjutnya persamaan 13 dibuat lebih sederhana,

$$\frac{dx}{dt} = x [p + r - s]$$

dengan :

$$p = \frac{m_f \cdot c_f \cdot \Delta T}{m \cdot L \cdot x}, r = \frac{2 \eta \cdot \Delta T \cdot \pi \cdot d_o \cdot \mu_o \cdot e^{-\eta \Delta T}}{m},$$

$$s = \frac{\Delta \rho \cdot \pi \cdot d^2 \left(\Delta h + \frac{1}{2} \cdot x^2 \right)}{4 \cdot m \cdot L \cdot C_o}$$

b. Simulasi

Sebelum melakukan simulasi, maka parameter-

parameter yang akan dimasukkan terlebih dahulu diberi penamaan mulai huruf a sampai dengan m sesuai dengan banyaknya parameter sehingga merupakan variabel input yang dipergunakan oleh program Simmon.

Parameter yang dimasukkan meliputi ;

- a = $m_f = 2$ (kg)
- b = $c_f = 1.66$
- c = $\Delta T = 5^\circ\text{C}$
- d = $m = 250$ (kg)
- e = $L = 0.03$ (m)
- f = $\eta = 0.11$ (dihitung)
- g = $\pi = 3.14$
- h = $d_o = 0.001$ (m)
- i = $\mu_o = 400.915$ (N.s/m²)
- j = $\Delta\rho = 0.005$
- k = $d = 0.05$ (m)
- l = $\Delta h = 10000$ (J/kg)
- m = $C_o = 0.8$ (dihitung)

Angka atau nilai besaran tersebut diperoleh dari tabel tentang sifat-sifat bahan minyak pelumas mesin [13]. Pengeditan persamaan model diatas ke dalam program simulasi sebagai berikut :

CONTINUOUS SYSTEM NAT

STATE x y

DER dx dy

p = $0.4426 * c / (x)$

r = $1.1078 * c * h * \text{EXP}((-0.11) * c)$

s = $j * 0.000325 * (1 + (0.5 * x * x))$

dy = x

dx = $x * (p + r - s)$

c : 5

h : 0.001

j : 0.005

l : 10000

END

* Simulation

Untuk mengaktifkan (Run) sistem diatas dilakukan sebagai berikut :

SYST NAT

AXES H 0 5 V -25 25

PLOT x y

INIT x:1

SIMU 0 20 -MARK

dengan :

AXES = Sumbu X-Y (ditentukan sendiri) ;

H 0 5 = Sumbu X (Horisontal) dari 0 hingga 5

V -25 25 = Sumbu Y (Vertikal) dari -25 hingga 25

SIMU 0 20 - MARK = Simulasi dari waktu 0 hingga 20 detik

Jika ingin mengubah parameter dilakukan dengan menulis

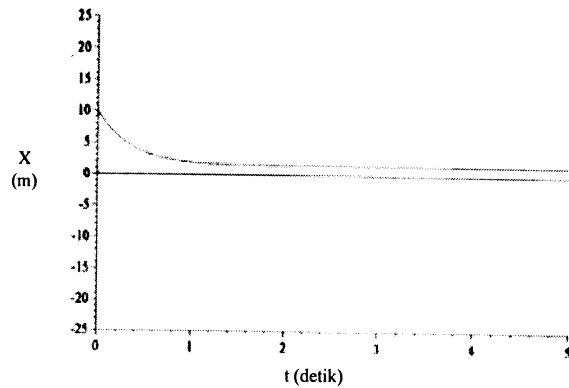
perintah : **PAR**

Sebagai contoh : **PAR c:10**

PAR h: 0005

c. Analisis Hasil

Dari hasil simulasi diperoleh grafik seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Hubungan x (perpindahan) dan t (waktu)

d. Perubahan parameter dan kondisi awal

Apabila variabel $\Delta T(c)$, $d_o(h)$, $\Delta\rho(j)$ dan $\Delta h(l)$ diubah sebagai berikut :

PAR c:10

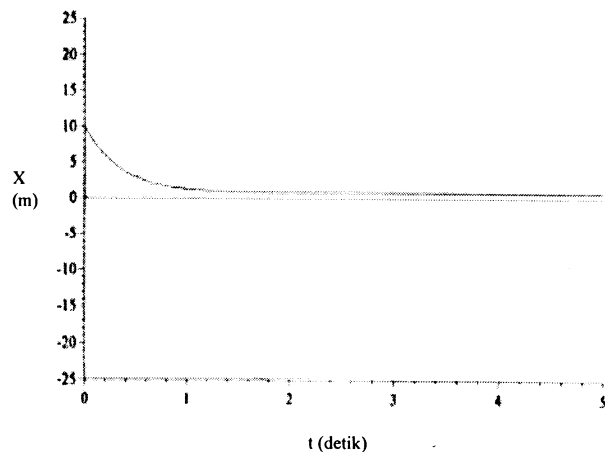
PAR h:0.0009

PAR j:0.009

PAR l:9999

END

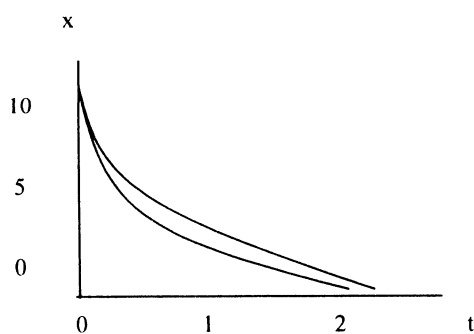
diperoleh hasil perhitungan dalam bentuk kurva seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Hubungan x dan t

Pada prinsipnya paduan *shape memory* yang diaplikasikan pada teknologi alat penyerap kejut merupakan suatu cara untuk mengatasi masalah penurunan kekentalan cairan minyak pelumas yang digunakan pada alat tersebut setelah beroperasi relatif lama. Akibat penurunan kekentalan tersebut menyebabkan menurunnya gaya redam dari cairan tersebut. Teknik ini menggunakan paduan *shape memory* untuk mengurangi besar diameter lubang kecil (*orifice*) piston sehingga gaya redam bisa membesar, karena cairan minyak yang keluar lebih sedikit. Model matematik yang diturunkan dari persamaan Hukum Termodinamika bertujuan untuk mendapatkan persamaan yang mengandung variabel temperatur, diameter lubang kecil yang besar diameternya dikontrol oleh paduan *shape memory* dan viskositas minyak pelumas. Dengan demikian secara teoritis teknik ini dapat dibuktikan kelayakannya dan selanjutnya dapat dilakukan eksperimen untuk membuktikan keakuratan teknik ini.

Dari kedua grafik diatas dapat dilihat bahwa walaupun temperatur naik, namun diameter orifis (d_o) juga mengecil, koefisien peredam fluida tetap konstan, hal ini ditunjukkan dari hasil kedua grafik yang hampir sama. Untuk mendapatkan besar nilai diameter orifis (d_o) yang optimum, sehingga walaupun koefisien viskositas cairan fluida menurun akibat kenaikan temperatur, Gaya peredam tetap konstan (stabil), maka simulasi perlu terus dilakukan dengan mencoba ukuran d_o : 0,0008 ; 0,0007 ; 0,0006 ; 0,0005 dan seterusnya. Dari persamaan 11 dapat diketahui parameter-parameter yang mengalami perubahan akibat kenaikan temperatur fluida (ΔT) adalah densitas fluida



Gambar 9. Contoh grafik dengan koefisien peredam yang berbeda

(Δp), entalpi fluida (Δh), diameter orifis (d_o) dan viskositas fluida (μ). Kecepatan piston berubah akibat adanya gerakan massa benda (m) yang bergetar. Apabila grafik pada Gambar 8 sangat berbeda dengan Gambar 7, maka dapat diketahui bahwa koefisien peredamnya tentu berubah pula. Hal ini diperlihatkan pada contoh grafik pada Gambar 9, dimana grafik yang berada pada bagian

bawah mempunyai koefisien redam yang lebih besar karena lebih cepat berhenti bergetar.

KESIMPULAN

1. Dari hasil model matematik yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa sistem tersebut bergantung pada:
 - a. Perubahan temperatur
 - b. Perubahan densitas minyak fluida
 - c. Perubahan entalpi minyak fluida
 - d. Perubahan viskositas minyak fluida
 - e. Kecepatan piston
2. Dari model matematik dapat diketahui walaupun densitas dan viskositas minyak fluida menurun akibat kenaikan temperatur tetapi diameter orifis juga mengecil sehingga koefisien peredam fluida tetap konstan dan $\Delta p \cdot A$ (Gaya peredam fluida) tetap stabil.
3. Dari hasil simulasi diketahui bahwa koefisien peredam fluida tetap konstan sehingga gaya peredam fluida tetap stabil walaupun viskositas fluida menurun akibat kenaikan temperatur, hal disebabkan adanya penggunaan paduan *shape memory* pada lubang orifis. Dengan demikian penggunaan paduan *shape memory* untuk meningkatkan prestasi alat penyerap kejut adalah layak secara teoritis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang amat dalam kepada Assoc. Prof. DR. Ing. Nik Abdullah Nik Mohamed dari Universiti Kebangsaan Malaysia atas saran dan bimbingannya dalam pembuatan model matematik dan simulasi model tersebut.

DAFTAR ACUAN

- [1]. MUHAMMAD NATSIR & AGUSTANHAKRI, "Beberapa Variasi Loncatan Panas Dalam Daerah Mirip Plastik Pada Paduan Memori Bentuk, Ni-Ti", Majalah BPPT No.86, Penerbit BPPT, Jakarta, hal. 83-86, (1998).
- [2]. FRANK YEAPLE, "Fluid Power Design Handbook", Tenth Edition, Marcel Dekker, Inc, USA, pp.12, (1984).
- [3]. WILLIAM H. CROUSE & DONALD L. ANGLIN, "Automotive Brakes, Suspension, And Steering", Sixth Edition, McGraw-Hill Book Company, USA, pp.136-139, (1983).
- [4]. BURTON, T.D, "Introduction to Dynamic Systems Analysis", First Edition, McGraw-Hill, Inc, USA, pp.349, (1994).
- [5]. WILLIAM H. CROUSE & DONALD L. ANGLIN,