

# Karakteristik Dinamik Kolom Baja yang Diisi Pasir, Kerikil atau Serbuk Gergaji Besi

Suhardjono, Robby Irjhon dan Winarto

Laboratorium Mesin Perkakas, Jurusan Teknik Mesin FTI - ITS

E-mail: suhardjono@me.its.ac.id

## ABSTRAK

Kolom yang berpenampang lingkaran banyak dipakai dalam konstruksi baik mesin maupun sipil. Banyak penyangga papan reklame, tiang rambu lalu-lintas dan sebagainya terbuat dari kolom jenis ini. Kolom mesin perkakas seperti kolom mesin drill sebenarnya dan seharusnya dibuat dari kolom yang berpenampang kotak (box) bukan berpenampang lingkaran seperti pipa, tetapi agar lengan (arm) dapat diputar atau meja mesin tersebut dapat diputar dengan tujuan meningkatkan fleksibilitas seting benda kerja, maka struktur mesin tersebut dibuat dari kolom yang berpenampang lingkaran. Padahal kolom berpenampang lingkaran mempunyai karakteristik bahwa kekakuan statik dan dinamik baik bending maupun torsi jauh lebih rendah dibandingkan dengan kolom yang berpenampang kotak untuk berat yang sama. Dengan harapan terjadi peningkatan kekakuan yang besar, maka dilakukanlah penelitian dengan menggunakan pengisian material butiran sebagai peredam getaran, yaitu pasir dengan ukuran butiran kecil (halus), sedang dan besar (kerikil) serta serbuk besi. Hasil percobaan memperlihatkan bahwa semakin besar volume pengisian material butiran, maka semakin besar pula peningkatan baik redaman maupun kekakuan dinamikanya. Peningkatan rasio redaman dari 1% untuk kolom kosong hingga 10,6% untuk isi serbuk besi penuh dan 8,6% untuk isi pasir halus penuh. Jadi terjadi peningkatan rasio redaman 10,6 kali dan 8,6 kali masing-masing. Kekakuan dinamik terjadi kenaikan dari  $4.427E+5$  N/m menjadi  $5.285E+6$  N/m untuk serbuk besi penuh dan  $2.192E+6$  N/m untuk pasir halus penuh, sehingga peningkatan kekakuan dinamik yang dicapai adalah 11,94 kali dan 4,95 kali masing-masing. Ini merupakan hasil yang sangat fantastis untuk perlakuan yang sederhana.

**Kata kunci:** Kolom, kerikil, serbuk besi, kekakuan dinamik, perbandingan redaman.

## ABSTRACT

*Steel column with circular cross section is frequently used in both civil and machine construction. Many of girders of ballyhoo, traffic sign pillars etc. are made from the type of this column, because of good availability and low price. The machine tool construction e.g. a drilling machine actually should be built with box type column not a circular one. However, in order to be able to rotate the machine arm and or the table, the machine column must be made of a circular type. Whereas a circular type column has both static and dynamic either bending or torsional stiffness lower than the box type for the same weight. The research is aimed to increase the dynamic stiffness of circular type column by using granular material as a vibration damper. The granular material like sand, gravel and iron sawdust is investigated. The result shows that the more volume of the granular material to be filled in column, the higher both the damping ratio and the dynamic stiffness. Consequently the best result is achieved by fully filled condition. The damping ratio rises up from 1 % for the an empty column to 10.6 % or up to 10.6 times higher for fully filled with iron sawdust and to 8.6 % or up to 8.6 times higher for fully filled with sand. The dynamic stiffness increase from  $4.427E+5$  N/m for an empty column to  $5.285E+6$  N/m or up to 11.94 times higher for fully filled with iron sawdust and to  $2.192E+6$  N/m or up to 4.95 times higher for fully filled with sand. This is of course a fantastic successfulness for a simple treatment.*

**Keywords:** Steel column, gravel, iron sawdust, dynamic stiffness, damping ratio.

## PENDAHULUAN

Struktur baja yang berpenampang lingkaran seperti pipa, kolom mesin drill, tiang papan iklan, tiang rambu lalu lintas dan sejenisnya mempunyai kekakuan dinamik baik torsi maupun bending yang relatif kecil dibandingkan struktur baja berpenampang kotak (*box*) untuk berat yang sama, tetapi baja yang berpenampang lingkaran tersebut jauh lebih banyak di pasaran dan harganya relatif murah.

Pada kasus kolom mesin drill, agar lengan (*arm*) dapat diputar, misalnya untuk mesin drill radial atau meja mesin tersebut dapat diputar dengan tujuan meningkatkan fleksibilitas seting benda kerja, maka kolom mesin drill tidak boleh tidak harus dibuat dari kolom yang berpenampang lingkaran. Padahal kolom berpenampang lingkaran mempunyai karakteristik bahwa kekakuan statik dan dinamik baik bending maupun torsi jauh lebih rendah dibandingkan dengan kolom yang berpenampang kotak untuk berat yang sama. Untuk mengatasi permasalahan diatas tentu saja harus dilakukan penelitian dengan tujuan meningkatkan kekakuan dinamik kolom berbentuk pipa tersebut. Salah satu metode yang dikembangkan disini adalah mengisi kolom tersebut dengan material butiran yang berupa pasir, kerikil dan serbuk besi.

Sebenarnya usaha untuk perbaikan kekakuan dinamik kolom pipa baja tersebut sudah diteliti, yaitu pengaruh beberapa jenis material viskoelastis dari *akrilik, epoxy dan silikon* untuk *pipa sandwich*. Hasil terbaik dimiliki oleh silikon yang mampu meningkatkan kekakuan dinamik 2 kali lipat dibandingkan tanpa *sandwich* [1].

Salah satu alternatif yang lain untuk perbaikan struktur kolom baja tersebut yang relatif sederhana adalah memberi peredam. Dalam hal ini yang akan diteliti adalah penggunaan material butiran (*granular material*) yaitu serbuk gergaji besi, pasir dan kerikil yang masing-masing divariasikan volumenya untuk dimasukkan dalam kolom baja tersebut. Ide ini sebenarnya berkembang dari hasil penelitian yang diseminarkan dengan judul *Pengaruh Volume Pengisian Pasir atau Kerikil pada Benda Kerja Bentuk Kotak terhadap Peningkatan Kekakuan Dinamik* [2].

Dari latar belakang di atas, maka penelitian ini ditujukan mencari metode baru bagaimana cara meredam getaran yang timbul dengan optimal, mudah, murah dan aplikatif. Oleh karena itu masalah yang akan dikaji adalah:

1. Mencari material butiran yang mana apakah pasir, kerikil atau serbuk gergaji besi yang dapat meredam getaran paling efektif.
2. Bagaimana pengaruh volume pengisian untuk masing-masing material butiran tersebut.

Penggunaan pasir juga sudah dilakukan untuk meredam getaran dalam bed mesin bubut, dimana dalam proses pengecoran bed mesin tersebut inti pasir dibiarkan dalam rongga, jadi inti pasir tersebut

tidak dikeluarkan seperti pada proses pengecoran pada umumnya. Dengan inti pasir tersebut ternyata redaman meningkat hingga lebih dari 10 kali lipat [3].

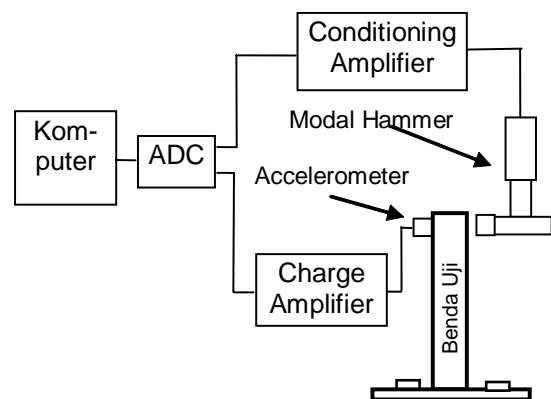
Usaha-usaha untuk meningkatkan baik redaman maupun kekakuan dinamik sudah banyak diteliti. Pada tahun 2002 penggunaan peredam viskoelastik 101 oleh Macioce [4] dan modifikasi struktur dengan peredam tambahan (*additive damping*) yang diperkenalkan oleh Nakra [5] yang keduanya bertujuan untuk meningkatkan kekakuan dinamik struktur.

Struktur *sandwich* (berlapis-lapis) untuk plat baja juga dapat meningkatkan kekakuan dinamik dan redaman struktur [6]. Hal yang serupa dengan penggunaan perekat celotip dua sisi, maka kekakuan dinamik dapat ditingkatkan [7].

Penggunaan massa seismik juga diteliti untuk meredam getaran, dimana dengan menggunakan redaman ini kekasaran permukaan maksimal ( $R_{max}$ ) yang dipengaruhi getaran akibat terjadinya *chatter* dapat turun dari 180  $\mu m$  menjadi hanya 20  $\mu m$  saja atau turun hingga 90% [8,9].

## METODE PENELITIAN

Skema susunan pengujian getaran seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Susunan Alat Ukur Getaran untuk Percobaan

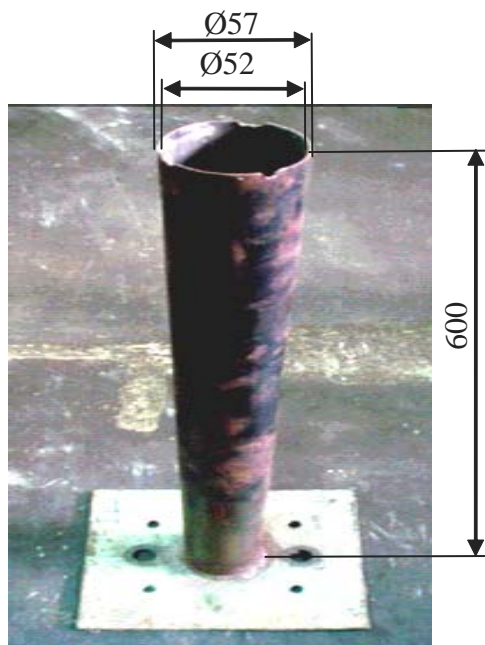
Prinsip kerja dari proses pengukuran getaran di atas adalah sebagai berikut: Benda uji dieksitasi dengan *modal hammer* sebagai gaya impuls yang dapat diukur besarnya, kemudian respon getaran yang timbul diukur dengan sensor percepatan (*accelerometer*). Karena kedua sinyal baik dari *modal hammer* maupun *accelerometer* sangat kecil, maka sinyal tersebut diperbesar dengan menggunakan amplifier agar sinyal analog tersebut dapat digitalisasi dengan ADC (*Analog to Digital Converter*) untuk selanjutnya diolah pada komputer. Hasil data yang diinginkan adalah Fungsi Transfer dalam bentuk *compliance*, dari Fungsi Transfer ini

dapat dihitung kenaikan redaman dan kekakuan dinamik sebelum dan sesudah pipa diisi material butiran. Klasifikasi ukuran butiran ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi Ukuran Butiran

| Type           | Ukuran Butir (mm) |
|----------------|-------------------|
| Kerikil Kasar  | 20 – 60           |
| Kerikil sedang | 6 – 20            |
| Kerikil halus  | 2 – 6             |
| Serbuk Besi    | 0,6 – 1           |
| Pasir kasar    | 0,6 – 2           |
| Pasir sedang   | 0,2 – 0,6         |
| Pasir halus    | 0,06 – 0,2        |

Ukuran kolom tunggal dari baja yang diuji ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Benda Uji Kolom Baja

Fungsi Transfer dari hasil pengukuran dalam bentuk *compliance* adalah perbandingan antara respon getaran terhadap gaya eksitasinya yang dinyatakan dalam domain frekuensi dengan Persamaan 1 sebagai berikut:

$$c = \frac{x}{F}(f) \tag{1}$$

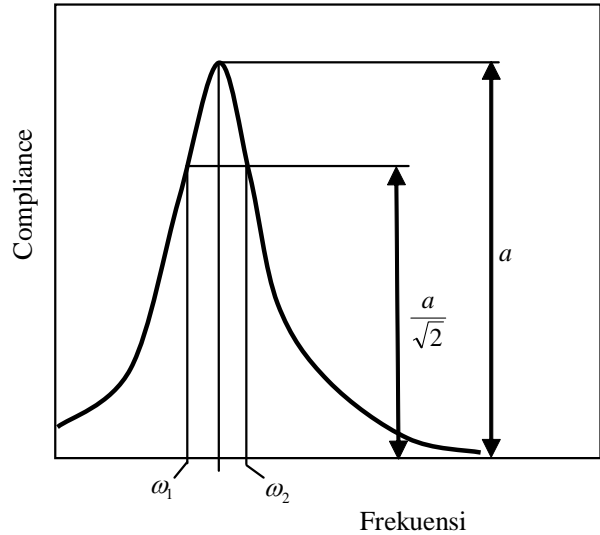
*Compliance* pada frekuensi pribadi pertama dapat ditunjukkan dalam Gambar 3.

Perbandingan redaman *D* untuk karakteristik dinamik hasil pengukuran getaran di atas ditentukan dengan menghitung *Loss factor* yang menggunakan metode *Half Power Bandwidth*

$$\eta = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_n} = 2D \tag{2}$$

dimana:

- : *Loss Factor*
- D : Rasio redaman
- <sub>n</sub> : Frekuensi pribadi, terjadi pada a = a<sub>max</sub>
- <sub>1</sub> : Frekuensi saat  $a_{(\omega_1)} = \frac{1}{2}\sqrt{2} a_{max}$
- <sub>2</sub> : Frekuensi saat  $a_{(\omega_2)} = \frac{1}{2}\sqrt{2} a_{max}$



Gambar 3. Penentuan Rasio Redaman dengan Metoda Half Power Bandwidth

Kekakuan dinamik adalah perbandingan antara gaya dan perpindahan dalam fungsi frekuensi atau kebalikan dari *compliance*, dengan persamaan sebagai berikut:

$$k = \frac{F}{x}(f) \tag{3}$$

Sehingga besarnya kekakuan dinamik kolom baja pada frekuensi pribadi pertama ditentukan dari *compliance* hasil pengukuran Gambar 3. Dengan demikian, *compliance* dapat dinyatakan dengan Persamaan 4, sebagai berikut:

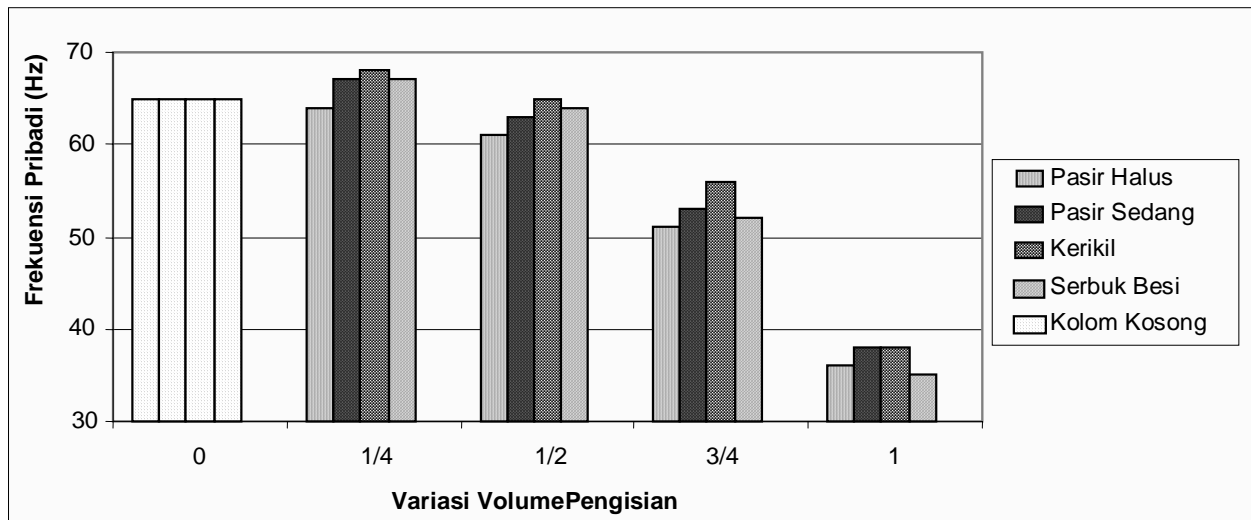
$$k = \frac{1}{a_{max}} \tag{4}$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil percobaan secara keseluruhan ditunjukkan pada Tabel 2. Untuk mempermudah analisis data hasil percobaan, maka Tabel II disajikan dalam bentuk grafik bagi masing-masing parameter yang diamati dan diukur. Pengaruh variasi pengisian material butiran terhadap perubahan frekuensi pribadi untuk kolom tunggal ditunjukkan pada Gambar 4.

Tabel 2. Data Percobaan Kolom Baja yang di isi Material Butiran

| Jenis Matrial Pengisi     | Variasi Volume | Frekuensi Pribadi $f_n$ (Hz) | Compliance $c$ (m/N) | Kekakuan Dinamis $k$ (N/m) | Rasio Redaman $D$ (%) |
|---------------------------|----------------|------------------------------|----------------------|----------------------------|-----------------------|
| Kosong                    | 0              | 65                           | 2.259E-06            | 4.427E+05                  | 1.0                   |
|                           | 1/4            | 64                           | 1.888E-06            | 5.297E+05                  | 1.6                   |
| Pasir Ukuran Butir Halus  | 1/2            | 61                           | 8.294E-07            | 1.206E+06                  | 2.6                   |
|                           | 3/4            | 51                           | 4.969E-07            | 2.012E+06                  | 3.5                   |
| Pasir Ukuran Butir Sedang | 1              | 36                           | 4.562E-07            | 2.192E+06                  | 8.6                   |
|                           | 1/4            | 67                           | 2.214E-06            | 4.517E+05                  | 1.2                   |
|                           | 1/2            | 63                           | 8.588E-07            | 1.164E+06                  | 2.0                   |
|                           | 3/4            | 53                           | 4.992E-07            | 2.003E+06                  | 3.0                   |
| Kerikil                   | 1              | 38                           | 4.715E-07            | 2.121E+06                  | 5.8                   |
|                           | 1/4            | 68                           | 2.140E-06            | 4.673E+05                  | 1.1                   |
|                           | 1/2            | 65                           | 1.043E-06            | 9.588E+05                  | 1.4                   |
|                           | 3/4            | 56                           | 5.379E-07            | 1.859E+06                  | 3.0                   |
|                           | 1              | 38                           | 5.070E-07            | 1.972E+06                  | 4.7                   |
| Serbuk gergaji Besi       | 1/4            | 67                           | 1.881E-06            | 5.316E+05                  | 1.3                   |
|                           | 1/2            | 64                           | 5.190E-07            | 1.927E+06                  | 5.5                   |
|                           | 3/4            | 52                           | 2.312E-07            | 4.325E+06                  | 9.1                   |
|                           | 1              | 35                           | 1.892E-07            | 5.285E+06                  | 10.6                  |



Gambar 4. Frekuensi Pribadi Satu Kolom dengan Variasi Ukuran Butiran dan Volume Pengisian

Grafik Gambar 4 menunjukkan adanya perubahan frekuensi pribadi akibat variasi pengisian kolom yang secara keseluruhan terlihat adanya penurunan frekuensi pribadi dari volume pengisian 1/2 kolom sampai volume pengisian penuh, hal ini dikarenakan terjadinya penambahan massa pada kolom, sesuai dengan perumusan:

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \tag{5}$$

dimana frekuensi pribadi ( $f_n$ ) akan menurun apabila terjadi kenaikan massa ( $m$ ).

Berdasarkan variasi jenis dan ukuran material butiran frekuensi pribadi terbesar dimiliki oleh kolom yang diisi kerikil pada volume pengisian 1/4 bagian sebesar 68 Hz, frekuensi pribadi akan menurun hingga 38 Hz pada volume pengisian

kerikil penuh. Dengan volume pengisian yang sama, untuk pasir dengan ukuran butir halus didapat frekuensi pribadi 64 Hz pada volume pengisian 1/4 dan 36 Hz untuk volume pengisian penuh. Penurunan frekuensi pribadi tersebut dikarenakan untuk volume pengisian yang sama, kerikil memiliki massa yang lebih kecil akibat besarnya rongga antar butiran dibanding pasir ukuran butir halus.

Seperti halnya dengan frekuensi pribadi, maka juga terjadi penurunan compliance untuk setiap penambahan volume pengisian kolom yang terlihat jelas pada grafik perbandingan *compliance* Gambar 5. Dari hasil percobaan didapatkan harga *compliance* terendah untuk kolom diisi pasir dengan ukuran butir halus pada volume pengisian penuh (4.562E-07 m/N), sedangkan harga *compliance* tertinggi dimiliki oleh kolom kosong (2.259E-06 m/N). Penurunan harga *compliance* ini menunjukkan terjadinya peningkatan kekakuan dinamik dari

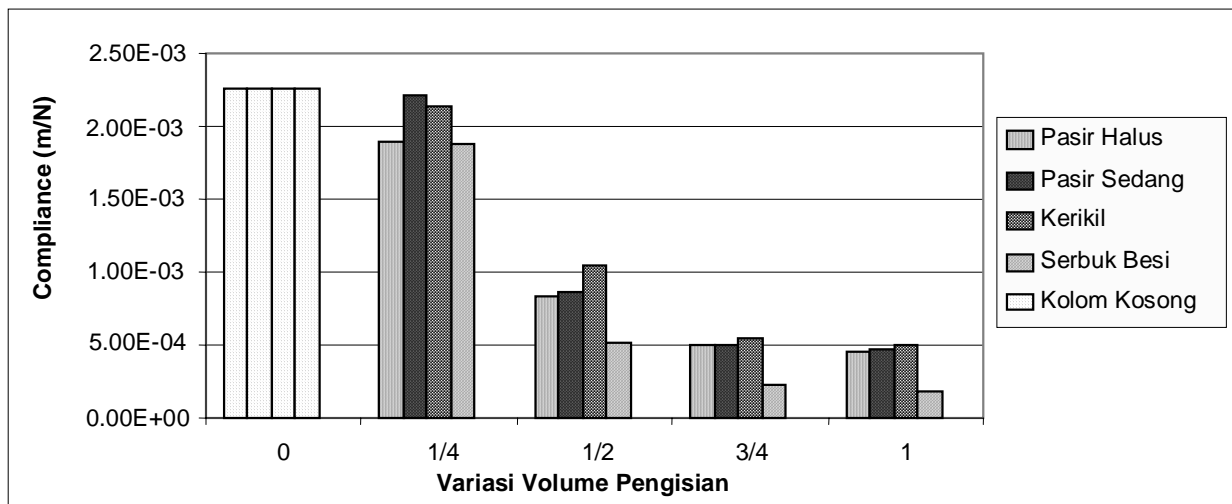
struktur kolom, karena kekakuan dinamik berbanding terbalik dengan *compliance*, seperti pada rumus :  $c = \frac{1}{k}$ . Jadi dengan semakin kecil

harga *compliance*, berarti semakin besar harga kekakuan dinamik (Gambar 6).

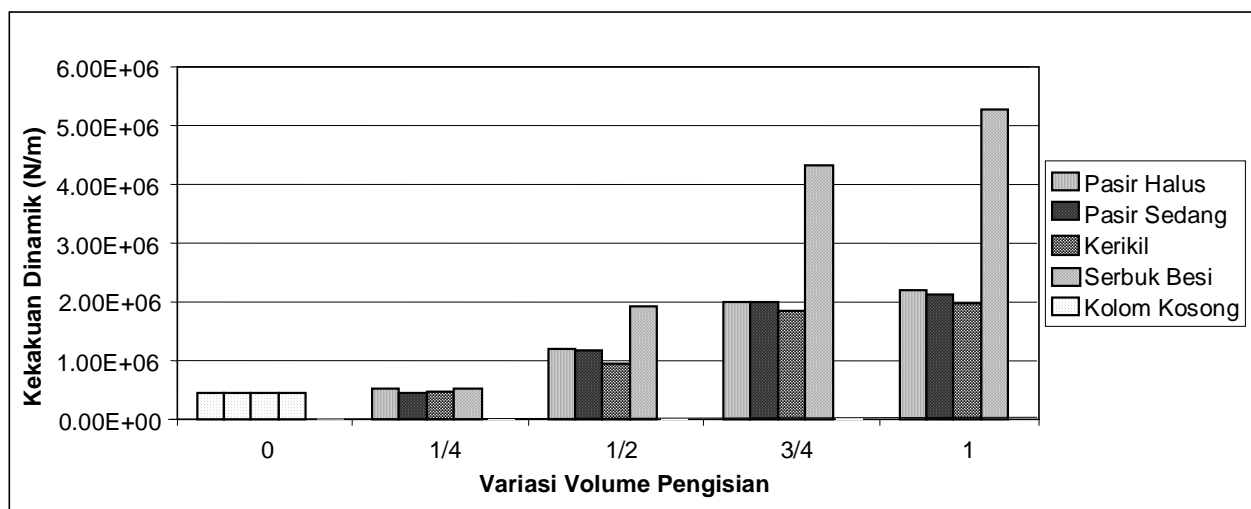
Penambahan volume pengisian dapat meningkatkan perbandingan redaman, harga terbesar dimiliki oleh kolom yang diisi serbuk besi (10,6 %) pada volume pengisian penuh, dan yang terendah adalah kolom kosong (1 %). Pada Gambar 7 terlihat bahwa material dengan ukuran butiran yang lebih halus dapat memberikan peningkatan redaman yang lebih baik, hal ini dikarenakan material tersebut memiliki kerapatan butir yang lebih baik, sehingga gesekan antar butiran juga lebih besar. Jadi butiran halus dapat meredam getaran lebih efektif.

Pengaruh penambahan massa terhadap peningkatan perbandingan redaman juga dapat dibuktikan dengan percobaan menggunakan benda uji untuk variasi pengisian yang sama dan kolom yang diisi dengan serbuk besi mempunyai massa yang paling besar.

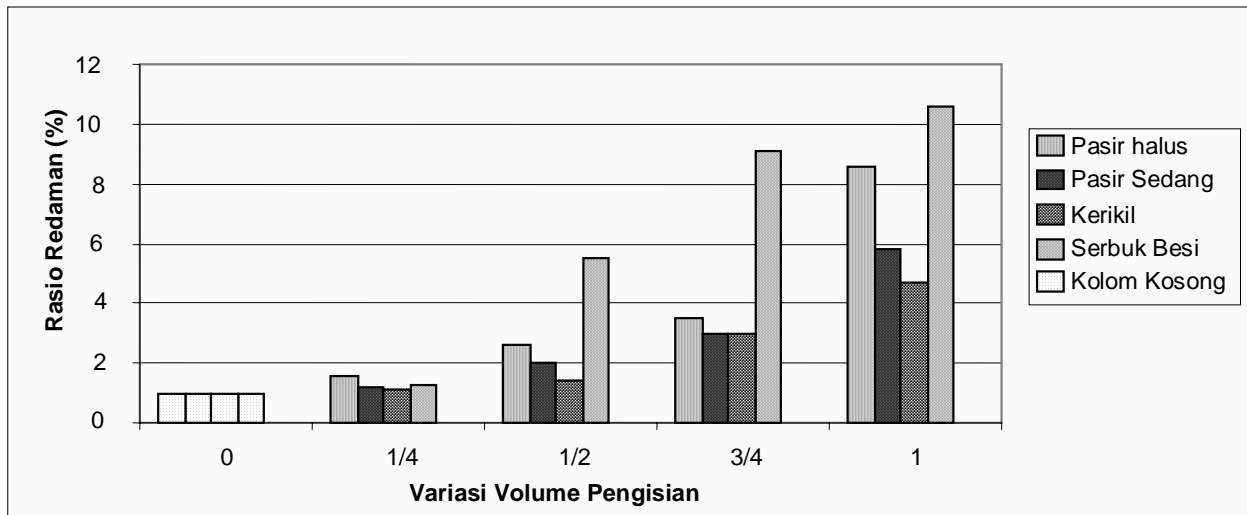
Dari hasil percobaan didapat bahwa serbuk gergaji besi memiliki harga perbandingan redaman yang lebih besar, yaitu hingga 10,6 % pada volume pengisian penuh bila dibandingkan pasir dengan ukuran butir halus yang hanya mencapai 8,6 %. Tetapi serbuk gergaji besi susah didapat dan harganya mahal dibandingkan pasir, selain itu juga dapat mengakibatkan korosi pada struktur kolom itu sendiri. Maka untuk pengaplikasiannya sebaiknya tetap menggunakan pasir yang murah dan mudah didapat sebagai media peredam getaran.



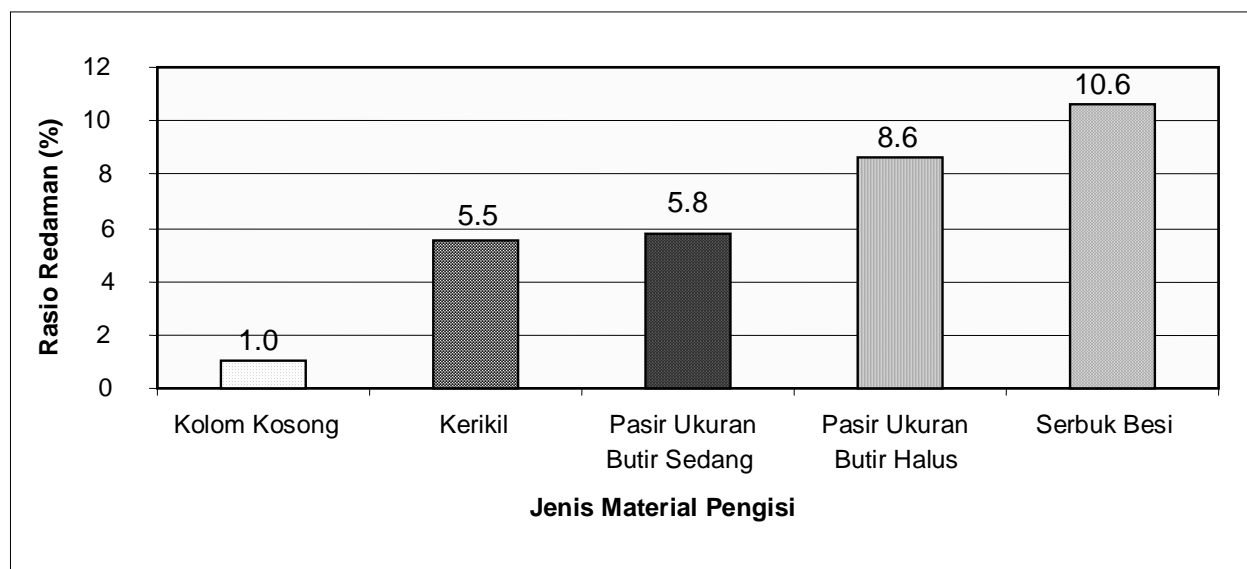
Gambar 5. Compliance Satu Kolom dengan Variasi Ukuran Butiran dan Volume Pengisian



Gambar 6. Kekakuan Dinamik Satu Kolom dengan Variasi Ukuran Butiran dan Volume Pengisian



Gambar 7. Perbandingan Redaman Satu Kolom dengan Variasi Ukuran Butiran dan Volume Pengisian



Gambar 8. Perbandingan Redaman Maksimum pada Pengisian Penuh untuk Berbagai Material Butiran

### KESIMPULAN

Penambahan material butiran berupa pasir, kerikil dengan memvariasikan volume pengisian kolom, menunjukkan terjadinya peningkatan perbandingan redaman dan kekakuan dinamik struktur tersebut yang sangat signifikan. Prosentase kenaikan tertinggi untuk rasio redaman dan kekakuan dinamik terjadi antara volume  $\frac{1}{2}$  dan  $\frac{3}{4}$ , sedangkan antara volume  $\frac{1}{4}$  dan  $\frac{1}{2}$  serta antara  $\frac{3}{4}$  dan 1 (penuh) hanya terjadi prosentase kenaikan yang relatif kecil. Berdasarkan jenis material butiran yang diuji, yaitu pasir, kerikil dan serbuk gergaji besi, maka serbuk gergaji besi memberikan kenaikan rasio redaman dan kekakuan dinamik yang paling tinggi. Untuk kolom diisi pasir dengan ukuran butir halus terbukti dapat meningkatkan perbandingan redaman dan kekakuan dinamik

yang lebih besar dibandingkan dengan pasir ukuran butir sedang dan kerikil pada volume pengisian kolom penuh.

### DAFTAR PUSTAKA

1. Suhardjono, *Pengaruh Jenis Material Viskoelastis dan Jumlah Lapisan Pipa Sandwich Terhadap Peningkatan Kekakuan Dinamik dan Redaman*, Jurnal Ilmiah Teknik Mesin POROS, Universitas Tarumanagara Jakarta, ISSN 1410-6841, Vol. 9, no.1, Januari 2006.
2. Oktavianto Jimat W. dan Suhardjono, *Pengaruh Volume Pengisian Pasir atau Kerikil pada Benda Kerja Bentuk Kotak terhadap Peningkatan Kekakuan Dinamik*, Prosiding Seminar Nasional Gabungan Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Material dan Proses ke 2, ISBN 979-95620-

- 3-1, pp. MBF-7 – MBF-11, UGM Yogyakarta, 27 Juni 2006.
3. Koenigsberger, F., Tlustý, J., *Machine Tools Structures*, Vol. 1, Pergamon Press Ltd., New York, 1970.
4. Macioce, P., *Vicoelastic Damping 101*, Article, Roush Industries, Inc. Michigan, pp. 122-131, 2002.
5. Nakra, B.C., *Structural Dynamic Modification Using Additive Damping*, Indian Institute of Technology, New Delhi, pp. 75-83, 2000.
6. Suhardjono, *Konstruksi Sandwich untuk Meningkatkan kekakuan dinamis dan Redaman Struktur*, Prosiding Seminar Nasional Pascasarjana 2001, ISBN 979-96565-0-8, pp B1-1 to B1-5, ITS, Surabaya 28-29 Agustus 2001
7. Suhardjono, *Perekat celotip dua sisi untuk meningkatkan kekakuan dinamis dan redaman struktur*, Jurnal teknik mesin no.2 vol.2 ISSN 1441-1971, Mei 2002, ITS Surabaya
8. Suhardjono, *Penggunaan Dua Massa Seismik untuk Meredam Getaran Dalam Rentang Frekuensi Yang Lebar (Two Seismic Mass to Reduce Wide Band Vibration)*, Prosiding Seminar Nasional Pascasarjana 2001, ISBN 979-96565-0-8, pp B4-1 to B1-6, ITS, Surabaya 28-29 Agustus 2001
9. Suhardjono, *Ein Variabel einsetzbarer gedämpfter Tilger zur Reduzierung von Ratterschwingungen bei Drehmaschinen*, Disertasi S3, TU-Berlin, Jerman, 2000.