

**PENGARUH JUMLAH DAN DIAMETER LUBANG PENAMPANG PISTON
CYLINDER DASHPOT VISCOUS DAMPER TERHADAP KONSTANTA
PEREDAMAN DAN RESPON PADA SISTEM GETARAN BEBAS SATU
DERAJAT KEBEbasAN**

SKRIPSI

Konsentrasi Teknik Konstruksi

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:
SUTANTO
NIM. 0210620121-62

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN MESIN
MALANG
2007**

**PENGARUH JUMLAH DAN DIAMETER LUBANG PENAMPANG PISTON
CYLINDER DASHPOT VISCOUS DAMPER TERHADAP KONSTANTA
PEREDAMAN DAN RESPON PADA SISTEM GETARAN BEBAS SATU
DERAJAT KEBEbasAN**

SKRIPSI

Konsentrasi Teknik Konstruksi

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

SUTANTO
NIM. 0210620121-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing I

Ir. Abdul Hadi Djaelani

NIP. 130 518 942

Pembimbing II

Ir. Endi Sutikno, MT.

NIP. 131 756 002

**PENGARUH JUMLAH DAN DIAMETER LUBANG PENAMPANG PISTON
CYLINDER DASHPOT VISCOUS DAMPER TERHADAP KONSTANTA
PEREDAMAN DAN RESPON PADA SISTEM GETARAN BEBAS SATU
DERAJAT KEBEbasAN**

Disusun Oleh:

SUTANTO

NIM. 0210620121-62

**Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus
pada tanggal 17 Juli 2007**

DOSEN PENGUJI

Skripsi I

Skripsi II

Ir. Winarno Yahdi Atmojo, MT.

NIP. 131 280 655

Ir. Pratikto, MMT.

NIP. 130 928864 002

Komprehensif

Ir. Bardji Hadi Pranoto

NIP. 130 935 803

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.

NIP. 132 159 708



KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT. atas limpahan rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Pengaruh Jumlah Dan Diameter Lubang Penampang *Piston Cylinder Dashpot Viscous Damper* Terhadap Konstanta Peredaman Dan Respon Pada Sistem Getaran Bebas Satu Derajat Kebebasan” ini dengan baik. Penulis menyadari bahwa selama penulisan skripsi ini telah dibantu banyak pihak.

Ucapan terima kasih yang tulus saya haturkan kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini yaitu kepada:

1. Bapak. Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
2. Bapak Ir. Achmad As'ad Sonief, MT., selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Teknik Konstruksi Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
3. Bapak Ir. Abdul Hadi Djaelani, selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan kepada penulis dalam menyelesaikan sekripsi ini.
4. Bapak Ir. Endi Sutikno, MT., selaku dosen pembimbing II yang telah mendampingi, membimbing dan memberi masukan dalam penulisan skripsi ini.
5. Ibu, Ayah alm., kakak-kakak di Kediri yang telah memberikan yang terbaik untuk penulis, sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
6. Ria yang selalu memberi semangat, Keluarga Besar Laboratorium Fenomena Dasar Mesin (Dosen, Laboran, dan Asisten) dan Keluarga Besar Mesin Angkatan 2002 yang telah membantu kelancaran terselesaikannya skripsi ini dengan baik.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa masih banyak terdapat kekurangan dalam penulisan skripsi ini, sehingga saya mengharap kritik dan saran yang bersifat membangun untuk kesempurnaan skripsi ini.

Malang, Juli 2007

Penulis



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL	x
RINGKASAN	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penulisan	2
1.5. Manfaat Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Penelitian Sebelumnya	4
2.2. Getaran	4
2.2.1. Konsep Dasar Getaran	4
2.2.2. Komponen Dasar Pada Sistem Getaran.....	5
2.2.3. Derajat Kebebasan (DOF)	5
2.2.4. Klasifikasi Getaran	6
2.3. Peredaman (<i>Damping</i>).....	10
2.4. Konstruksi <i>Viscous Damper</i>	11
2.5. Pengukuran Peredaman	14
2.6. Macam – Macam Peredaman	17
2.7. Koefisien Kerugian Pada Plat Perforasi	18
2.8. Hipotesis	20
BAB III METODE PENELITIAN	21
3.1. Metode Penelitian	21



3.2. Benda Uji dan Peralatan	21
3.2.1. Benda Uji	21
3.2.2. Peralatan	22
3.3. Variabel Penelitian	23
3.4. Tempat dan Waktu Penelitian	24
3.5. Prosedur Penelitian	24
3.6. Prosedur Pengambilan Data	25
3.7. Diagram Alir Penelitian	26
 BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN	27
4.1. Perhitungan	27
4.1.1. Perhitungan Frekuensi Natural	27
4.1.2. Perhitungan Frekuensi Teredam	28
4.1.3. Perhitungan Konstanta Peredaman <i>Piston cylinder dashpot Viscous Damping</i>	28
4.2. Data Perhitungan	30
4.2.1. Data perhitungan sistem getaran dengan menggunakan pegas $k = 1,22 \text{ kN/m}$ dan $m = 3,7 \text{ kg}$	30
4.2.2. Data perhitungan sistem getaran dengan menggunakan pegas $k = 1,22 \text{ kN/m}$ dan $m = 4,7 \text{ kg}$	31
4.2.3. Data perhitungan sistem getaran dengan menggunakan pegas $k = 3,3 \text{ kN/m}$ dan $m = 3,7 \text{ kg}$	32
4.2.4. Data perhitungan sistem getaran dengan menggunakan pegas $k = 3,3 \text{ kN/m}$ dan $m = 4,7 \text{ kg}$	33
4.3. Pembahasan	34
4.3.1. Grafik	34
4.3.1.1. Grafik hubungan antara jumlah lubang <i>piston cylinder dashpot</i> dengan frekuensi pada $k = 1,22 \text{ kN/m}$	34
4.3.1.2. Grafik hubungan antara jumlah lubang <i>piston cylinder dashpot</i> dengan frekuensi pada $k = 3,3 \text{ kN/m}$	34



4.3.1.3. Grafik hubungan antara jumlah lubang <i>piston cylinder dashpot</i> dengan damping ratio pada pegas dengan $k = 1,22 \text{ kN/m}$	35
4.3.1.4. Grafik hubungan antara jumlah lubang <i>piston cylinder dashpot</i> dengan damping ratio pada pegas dengan $k = 3,3 \text{ kN/m}$	35
4.3.1.5. Grafik hubungan antara jumlah lubang <i>piston cylinder dashpot</i> dengan konstanta peredaman pada pegas dengan $k = 1.22 \text{ kN/m}$	36
4.3.1.6. Grafik hubungan antara jumlah lubang <i>piston cylinder dashpot</i> dengan konstanta peredaman pada pegas dengan $k = 3,3 \text{ kN/m}$	36
4.3.2. Analisa Grafik.....	37
4.3.2.1. Grafik hubungan antara jumlah lubang <i>piston cylinder dashpot</i> dengan frekuensi pada $k = 1,22 \text{ kN/m}$	37
4.3.2.2. Grafik hubungan antara jumlah lubang <i>piston cylinder dashpot</i> dengan frekuensi pada $k = 3,3 \text{ kN/m}$	38
4.3.2.3. Grafik hubungan antara jumlah lubang <i>piston cylinder dashpot</i> dengan damping ratio pada pegas dengan $k = 1,22 \text{ kN/m}$	38
4.3.2.4. Grafik hubungan antara jumlah lubang <i>piston cylinder dashpot</i> dengan damping ratio pada pegas dengan $k = 3,3 \text{ kN/m}$	39
4.3.2.5. Grafik hubungan antara jumlah lubang <i>piston cylinder dashpot</i> dengan konstanta peredaman pada pegas dengan $k = 1.22 \text{ kN/m}$	40
4.3.2.6. Grafik hubungan antara jumlah lubang <i>piston cylinder dashpot</i> dengan konstanta peredaman pada pegas dengan $k = 3,3 \text{ kN/m}$	41
4.3.3. Pembahasan Grafik	42



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	43
5.1. Kesimpulan	43
5.2. Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	44
LAMPIRAN	45



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Hal.
Tabel 3.1.	: Contoh data penelitian dengan jumlah lubang 2, $d = 5$ mm pada $k = 1,22$ kN/m, $m = 3,7$ kg.	24
Tabel 4.1.	: Data perhitungan sistem getaran dengan menggunakan pegas $k = 1,22$ kN/m dan $m = 3,7$ kg.	29
Tabel 4.2.	: Data perhitungan sistem getaran dengan menggunakan pegas $k = 1,22$ kN/m dan $m = 4,7$ kg.	30
Tabel 4.3.	: Data perhitungan sistem getaran dengan menggunakan pegas $k = 3,3$ kN/m dan $m = 3,7$ kg.	31
Tabel 4.4.	: Data perhitungan sistem getaran dengan menggunakan pegas $k = 3,3$ kN/m dan $m = 4,7$ kg.	32



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Hal.
Gambar 2.1.	: Derajat Kebebasan	6
Gambar 2.2.	: Getaran bebas tak teredam	6
Gambar 2.3.	: Getaran bebas teredam	7
Gambar 2.4.	: Getaran paksa tak teredam	7
Gambar 2.5.	: Getaran paksa teredam	8
Gambar 2.6.	: Getaran harmonik	8
Gambar 2.7.	: Getaran acak	9
Gambar 2.8.	: <i>Hysteresis loop</i>	10
Gambar 2.9.	: <i>Viscous damper</i> berupa plat paralel	11
Gambar 2.10.	: <i>Piston cylinder dashpot</i>	11
Gambar 2.11.	: Response getaran teredam	14
Gambar 2.12.	: Grafik hubungan <i>natural logarithmic</i> amplitudo dan nomor pengukuran	16
Gambar 2.13.	: Macam macam peredaman	17
Gambar 2.14.	: Geometri lubang pada plat perforasi	18
Gambar 3.1.	: Helical spring	20
Gambar 3.2.	: <i>Simple vibration apparatus</i>	21
Gambar 3.3.	: Variasi jumlah dan diameter lubang penampang <i>piston</i>	22
Gambar 3.4.	: Diagram alir penelitian	25
Gambar 4.1.	: Grafik hubungan antara jumlah lubang <i>piston cylinder dashpot</i> dengan frekuensi pada $k = 1,22 \text{ kN/m}$.	33
Gambar 4.2.	: Grafik hubungan antara jumlah lubang <i>piston cylinder dashpot</i> dengan frekuensi pada $k = 3,3 \text{ kN/m}$.	33
Gambar 4.3.	: Grafik hubungan antara jumlah lubang <i>piston cylinder dashpot</i> dengan damping ratio pada pegas dengan $k = 1,22 \text{ kN/m}$.	34
Gambar 4.4.	: Grafik hubungan antara jumlah lubang <i>piston cylinder dashpot</i> dengan damping ratio pada pegas dengan $k = 3,3 \text{ kN/m}$.	34



- Gambar 4.5. : Grafik hubungan antara jumlah lubang *piston cylinder dashpot* dengan konstanta peredaman pada pegas dengan $k = 1.22 \text{ kN/m}$. 35
- Gambar 4.6. : Grafik hubungan antara jumlah lubang *piston cylinder dashpot* dengan konstanta peredaman pada pegas dengan $k = 3,3 \text{ kN/m}$.



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Hal.
Lampiran 1.	: Contoh gambar respon getaran hasil penelitian	44
Lampiran 2.	: Data Hasil Penelitian dan Perhitungan	45



DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL

Besaran	Satuan	Simbol
<i>Area of triangle</i>	m^2	A_t
Berat	N	W
<i>Damping ratio</i>		ξ
Defleksi	m	x
Diameter piston	m	D
<i>Free area of triangle</i>	m^2	A_{ft}
<i>Free area ratio</i>		\int
Frekuensi angular	rad/s	ω_n
Frekuensi linear	Hz	f
Gaya	N	F
Gaya	N	P
Gravitasi	$kg\ m/s^2$	g
kecepatan	m/s	v
Kecepatan awal piston	m/s	v_0
Kekentalan	kg/ms	μ
Konsatanta peredaman.	Ns/m	c
Konstanta pegas	N/m	k
Konstanta peredaman kritis	Ns/m	c_c
Laju aliran	m^3/s	Q
<i>Logaritmic decrement</i>		δ
Luas permukaan plat	m^2	A
Massa	kg	m
<i>minor head losses</i>	m	h_L
Tebal piston	m	l
Tegangan geser	N/m^2	τ
Tekanan	N/m^2	p



RINGKASAN

Sutanto, Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2006, *Pengaruh Jumlah dan Diameter Lubang Penampang Piston Cylinder Dashpot Viscous Damper Terhadap Konstanta Peredaman dan Respon Pada Sistem Getaran Bebas Teredam Satu Derajat Kebebasan*, Dosen Pembimbing : Ir. Abdul Hadi Djaelani & Ir. Endi Sutikno, MT.

Setiap kendaraan selalu dilengkapi dengan alat untuk menerima beban kejut yang disebut *damper*. Fungsi *damper* adalah untuk mengurangi energi kinetik dengan menggunakan fluida peredam. Kemampuan setiap *damper* tergantung pada konstruksinya yang dapat dipengaruhi oleh massa, kontanta pegas dan konstanta peredaman. Banyak faktor yang mempengaruhi nilai dari konstanta peredaman salah satunya adalah bentuk penampang peredam. Bentuk penampang peredam yang berbeda beda akan mempengaruhi besarnya konstanta peredaman dan respon yang dihasilkan.

Tujuan penulisan skripsi ini adalah mengetahui pengaruh jumlah lubang penampang pada *piston cylinder dashpot* terhadap konstanta peredaman dan mengetahui variasi nilai konstanta peredaman pada masing masing penampang pada *piston cylinder dashpot*.

Metode yang digunakan untuk melakukan penelitian ini adalah metode penelitian nyata (*true experimental research*) menggunakan variasi jumlah lubang penampang *piston cylindre dashpot viscous damper* untuk mencari pengaruhnya terhadap nilai *damping ratio* dan konstanta peredaman pada sistem getaran bebas satu derajat kebebasan.

Semakin banyak jumlah lubang dan semakin besar diameter lubang piston cylinder dashpot dihasilkan nilai frekuensi yang semakin besar, nilai damping ratio yang semakin kecil, dan nilai konstanta peredaman yang semakin kecil jika dibandingkan kondisi tanpa lubang (standar).



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seiring dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi mengakibatkan kebutuhan manusia juga semakin meningkat. Pertumbuhan kebutuhan tersebut dapat dilihat dari pertumbuhan jumlah konsumsi masyarakat akan barang dan jasa. Salah satu pertumbuhan jumlah penggunaan barang kebutuhan sehari hari yang mudah diamati adalah penggunaan alat transportasi terutama kendaraan bermotor.

Perkembangan tuntutan kemampuan kendaraan bermotor memerlukan perencanaan sebaik mungkin. Perencanaan kendaraan bermotor tersebut erat hubungannya dengan getaran yang terjadi. Kondisi jalan yang berbeda menghasilkan getaran yang berbeda pula. Perbedaan penggunaan kendaraan bermotor pada berbagai kondisi menyebabkan desain kendaraan tersebut harus berbeda untuk mendapatkan tingkat kenyamanan yang diinginkan.

Setiap kendaraan selalu dilengkapi dengan alat untuk menerima beban kejut yang disebut *damper*. Fungsi *damper* adalah untuk mengurangi energi kinetik dengan menggunakan fluida peredam (Rao, Singeresu S, 2004, 36). Banyak jenis *damper* yang digunakan diantaranya yang sering dipakai adalah *viscous damper* berupa *piston cylinder dashpot*.

Penggunaan alat-alat penerima beban kejut pun membutuhkan peredaman yang sesuai agar alat dapat meredam getaran yang terjadi dan agar tidak mengalami kerusakan. Untuk mencapai hal tersebut dibutuhkan nilai konstanta peredaman yang sesuai dengan kondisi yang diinginkan.

Getaran adalah suatu gerakan bolak – balik yang mempunyai amplitudo (jarak simpangan terjauh dengan titik tengah) yang sama (15 November 2004, www.wikipedia.org).

Kemampuan setiap *damper* tergantung pada konstruksinya yang dapat dipengaruhi oleh massa, kontanta pegas dan konstanta peredaman. Banyak faktor yang mempengaruhi nilai dari konstanta peredaman salah satunya adalah bentuk penampang peredam. Bentuk penampang peredam yang berbeda beda akan mempengaruhi besarnya konstanta peredaman dan respon yang dihasilkan.

Pemberian penampang yang berbeda yaitu dengan cara memvariasikan jumlah dan diameter lubang secara melingkar adalah untuk mendapatkan variasi nilai konstanta peredaman yang nantinya akan dijadikan pertimbangan dalam mendesain *viscous damper* yang sesuai dengan kondisi yang diinginkan. Dengan konstanta peredaman yang pas maka kenyamanan akan bisa dicapai.

1.2. Rumusan Masalah

Dari latar belakang masalah tersebut, maka dapat diambil rumusan masalahnya sebagai berikut :

“Bagaimana pengaruh jumlah dan diameter lubang penampang pada *piston cylinder dashpot viscous damper* terhadap konstanta peredaman dan respon pada sistem getaran bebas teredam satu derajat kebebasan “.

1.3. Batasan Masalah

Agar ruang lingkup permasalahan tidak meluas, maka diperlukan adanya batasan masalah sebagai berikut :

1. Getaran yang dianalisa adalah sistem getaran bebas teredam satu derajat kebebasan.
2. Pegas yang dipakai pada penelitian ini mempunyai nilai konstanta pegas sebesar 1,22 kN/m dan 3,3 kN/m.
3. Arah dari getaran diasumsikan hanya pada sumbu Y.
4. Variasi yang diteliti adalah variasi jumlah lubang penampang pada *piston cylinder dashpot*.
5. Fluida peredam yang digunakan adalah merk "showa" dengan nilai viskositas tertentu.

1.4. Tujuan Penulisan

Tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan skripsi ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh jumlah lubang penampang pada *piston cylinder dashpot* terhadap konstanta peredaman dan respon pada sistem getaran bebas teredam satu derajat kebebasan.
2. Mengetahui variasi nilai konstanta peredaman pada masing masing penampang pada *piston cylinder dashpot*.



3. Mendapatkan grafik respon getaran pada masong masing penampang *piston cylinder dashpot*.

1.5. Manfaat Penulisan

Manfaat yang dapat diambil dalam penulisan skripsi ini adalah :

1. Sebagai bahan pertimbangan dalam mendesain *piston cylinder dashpot* kendaraan bermotor.
2. Mengembangkan prosedur penelitian berkelanjutan untuk penelitian yang sejenis.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Sebelumnya

Wallentowitz, Henning (2005) menganalisa tentang respon getaran dari *hydraulic shock absorber* menggunakan *measurement-data acquisition* (Software DIAdem). Eksperimen tersebut dilakukan pada specimen yaitu valve flow ; jounce and rebound yaitu shock absorber dengan memakai *piston cylindre dashpot* berlubang. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah nilai damping force spesimen.

Kriswidiantoro, Eka (2006) menganalisa tentang pengaruh jumlah lubang dan susunan lubang plat perforasi terhadap getaran pada pipa lurus akibat aliran fluida. Hasil yang didapatkan dari penelitian tersebut adalah adanya pengaruh jumlah lubang dan susunan plat perforasi terhadap getaran yang ditimbulkannya yaitu secara umum semakin sedikit jumlah lubang plat perforasi maka getaran yang dihasilkan akan semakin kecil pula. Hal ini disebabkan karena dengan semakin sedikitnya jumlah lubang plat perforasi maka akan timbul kerugian head yang mengakibatkan kecepatan fluida semakin kecil dan gaya tekan fluida semakin kecil sehingga getaran yang dihasilkannya pun semakin kecil.

2.2. Getaran

2.2.1. Konsep Dasar Getaran

Getaran atau disebut juga *oscilasi* adalah setiap gerakan massa secara berulang selama interval waktu tertentu. (Rao, Singeresu S, 2004, 11).

Komponen penting pada getaran :

1. Frekuensi

Frekuensi adalah banyaknya putaran atau gerakan dalam satuan waktu (Rao, Singeresu S, 2004, 51). Frekuensi dinyatakan dalam satuan Hertz (Hz) atau cycle per second. Macam – macam frekuensi yaitu:

a. Frekuensi Angular

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \text{ (rad/ detik)}$$



b. Frekuensi Linear

$$f = \frac{\omega_n}{2\pi} \text{ (Hz)}$$

2. Amplitudo

Amplitudo adalah simpangan terbesar dari kedudukan normalnya. (Rao, Singiresu S, 2004, 51).

Amplitudo dapat berupa

1. Perpindahan (*displacement*)
2. Kecepatan (*velocity*)
3. Percepatan (*acceleration*)
3. Sudut Fase (*phase angle*)

Sudut Fase dapat diartikan sebagai perbedaan amplitudo dalam satu frekuensi. (Rao, Singiresu S, 2004, 51).

2.2.2. Komponen Dasar Pada Sistem Getaran

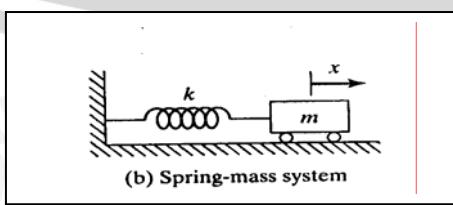
Secara umum sistem getaran terdiri atas :

- a. Penyimpan energi potensial (pegas / elastisitas).
- b. Penyimpan energi kinetik (massa / inersia).
- c. Peredam energi (*damper*).

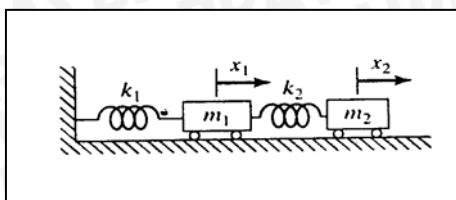
Sistem getaran mencakup perubahan energi potensial menjadi energi kinetik dan energi kinetik menjadi energi potensial secara bergantian. Jika sistem tersebut teredam maka sebagian energi akan berkurang pada setiap siklus getarannya.

2.2.3. Derajat Kebebasan (DOF)

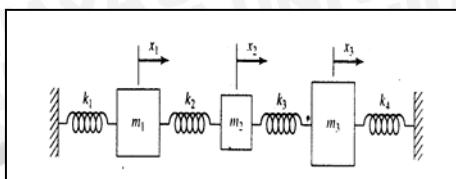
Derajat Kebebasan (DOF) adalah jumlah minimum koordinat bebas yang diperlukan untuk menentukan posisi bagian sistem getaran setiap waktu (Rao, Singiresu S, 2004, 14). Sistem Derajat kebebasan dapat digambarkan pada gambar berikut:



(a)



(b)



(c)

Gambar 2.1. Derajat Kebebasan 1 DOF, 2 DOF, 3 DOF
(Sumber : Rao, Singeresu S, 2004, 14)

Gambar 2.1. menunjukkan derajat kebebasan sistem getaran yaitu 1 DOF, 2 DOF, 3 DOF yang diwakili oleh massa dan pegas.

2.2.4. Klasifikasi Getaran

Secara umum getaran dapat diklasifikasikan menjadi :

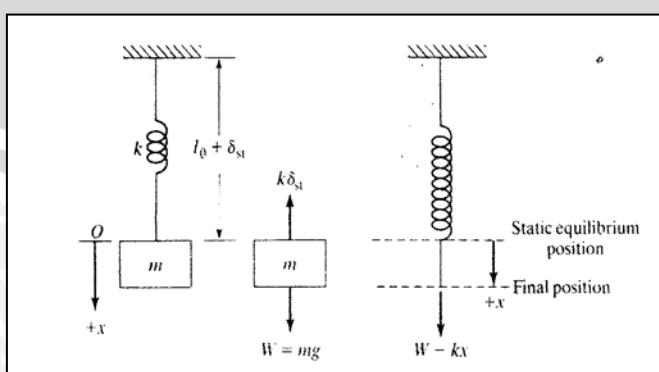
1. Getaran bebas (*free vibration*)

Getaran bebas adalah suatu getaran yang terjadi secara alami pada suatu sistem tanpa mengalami gaya luar (*external force*). Getaran bebas hanya dipengaruhi oleh massa dan kekakuan sistem getaran ini sendiri.

Getaran bebas dapat dikelompokkan lagi menjadi dua yaitu :

- a. Getaran bebas tak teredam (*undamped free vibration*)

Getaran bebas tak teredam adalah suatu getaran yang hanya mengandung massa dan elastisitas dan tidak mendapat pengaruh dari luar sistem itu sendiri.

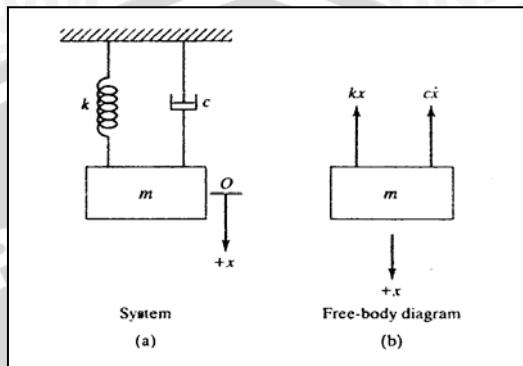


Gambar 2.2. Getaran bebas tak teredam
(Sumber : Rao, Singeresu S, 2004, 113)

Gambar 2.2. menunjukkan sistem getaran bebas tak teredam yang tersusun atas massa dan pegas tanpa ada gaya yang bekerja dari luar sistem.

b. Getaran bebas teredam (*damped free vibration*)

Getaran bebas teredam adalah suatu getaran yang mengandung massa, elastisitas dan damper yang tidak mendapat pengaruh dari luar sistem itu sendiri.



Gambar 2.3. Getaran bebas teredam
(Sumber : Rao, Singeresu S, 2004, 113)

Gambar 2.3. menunjukkan sistem getaran bebas teredam yang tersusun atas massa, pegas dan peredam yang mengalami gaya dari luar sistem.

2. Getaran Paksa

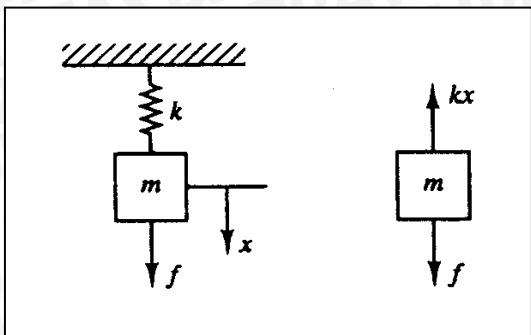
Getaran paksa adalah getaran yang mendapat pengaruh gaya dari luar (*external force*). Jika gaya luar ini berosilasi, maka sistem tersebut dipaksa untuk bergetar sesuai frekuensi gaya luar tersebut. Apabila frekuensi natural sistem sama dengan frekuensi gaya luar maka akan terjadi resonansi yang akan mengakibatkan pembesaran amplitudo sistem. Resonansi bisa mempercepat kerusakan bagian pada sistem getaran.

Getaran paksa dapat dikelompokkan lagi menjadi dua yaitu :

a. Getaran paksa tak teredam (*undamped forced vibration*)

Getaran paksa tak teredam adalah suatu getaran yang hanya mengandung massa dan elastisitas yang mendapat pengaruh gaya dari luar sistem itu sendiri.



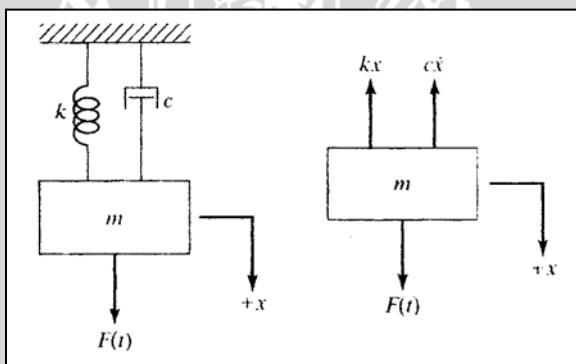


Gambar 2.4. Getaran paksa tak teredam
(Sumber : Dimarogonas, Andrew, 1996, 128)

Gambar 2.4. menunjukkan sistem getaran paksa tak teredam yang tersusun atas massa dan pegas yang mengalami gaya dari luar sistem.

b. Getaran paksa teredam (*damped forced vibration*)

Getaran bebas teredam adalah suatu getaran yang mengandung massa, elastisitas dan damper yang mendapat pengaruh gaya dari luar sistem itu sendiri.



Gambar 2.5. Getaran paksa teredam
(Sumber : Thomson, William T, 1993, 50)

Gambar 2.5. menunjukkan sistem getaran paksa teredam yang tersusun atas massa, pegas dan peredam yang mengalami gaya dari luar sistem.

3. Getaran *linear* dan *nonlinear*

a. Getaran *linear*

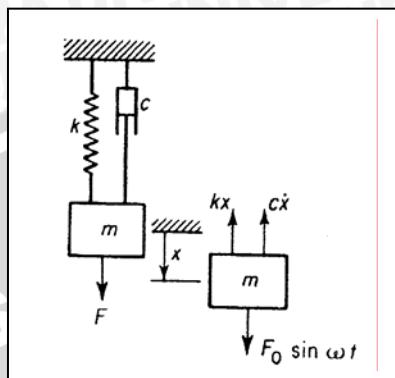
Getaran *linear* adalah suatu sistem getaran yang mengandung massa, elastisitas dan damper bergerak secara linear.

b. Getaran *nonlinear*

Getaran *nonlinear* adalah suatu sistem getaran yang mengandung massa, elastisitas dan damper bergerak secara nonlinear.

4. Getaran Harmonik

Getaran harmonik adalah getaran yang terjadi apabila suatu sistem tersebut dipengaruhi oleh eksitasi harmonik sehingga respon getarannya mempunyai frekuensi yang sama dengan frekuensi eksitasi. Gerak harmonik dapat digambarkan pada gambar

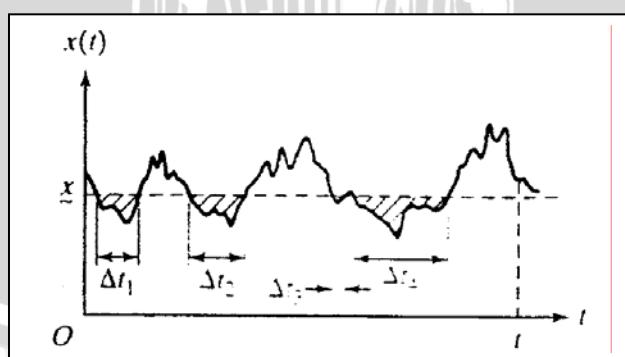


Gambar 2.6. Getaran harmonik
(Sumber : Thomson, William T, 1993, 52)

Gambar 2.6. menunjukkan sistem getaran harmonik yang tersusun atas massa, pegas dan peredam yang mengalami gaya harmonik dari luar sistem.

5. Getaran Acak

Getaran acak adalah getaran yang terjadi apabila suatu sistem tersebut dipengaruhi oleh *eksitasi* acak sehingga respon getarannya mempunyai frekuensi yang acak juga sesuai dengan frekuensi *eksitasi*. Gerak harmonik dapat digambarkan pada gambar



Gambar 2.7. Getaran acak
(Sumber : Rao, Singeresu S, 2004, 975)

Gambar 2.7. menunjukkan respon sistem getaran acak yang mempunyai frekuensi acak akibat gaya yang bekerja pada sistem mempunyai frekuensi acak juga.

2.3. Peredaman (*Damping*)

Energi pada sistem getaran berangsur – angsur akan dikonversikan menjadi panas atau suara. Respon getaran pada sistem yang meliputi perpindahan (*displacement*) juga akan mengalami penurunan seperti energi kinetiknya. Peredaman adalah suatu mekanisme yang berfungsi untuk mengurangi energi kinetik secara berangsur – angsur. Meskipun jumlah energi yang dikonversikan menjadi panas dan suara relatif kecil, akan tetapi pertimbangan peredaman ini sangat penting untuk memprediksi respon getaran secara akurat.

Macam – macam *damping* :

a. *Viscous damping*

Viscous damping adalah peredaman dengan menggunakan fluida. Jenis peredaman ini paling sering digunakan sekarang. Ketika suatu sistem bergetar dalam fluida seperti udara, gas, air maupun minyak akan terjadi hambatan oleh fluida tersebut terhadap massa yang bergerak/ bergetar karena energi telah diserap. Pada kasus ini jumlah energi yang diserap tergantung pada banyak faktor seperti ukuran dan bentuk benda yang bergetar, viskositas fluida, frekuensi getaran dan kecepatan benda yang bergetar.

Pada *viscous damping*, peredaman digunakan untuk meredam kecepatan benda yang bergetar.

Contoh jenis *viscous damping* adalah :

1. Lapisan fluida diantara permukaan yang bergeser.
2. Fluida mengalir di sekeliling piston pada silinder.
3. Fluida mengalir melalui orifice.
4. Lapisan fluida di sekeliling bearing.

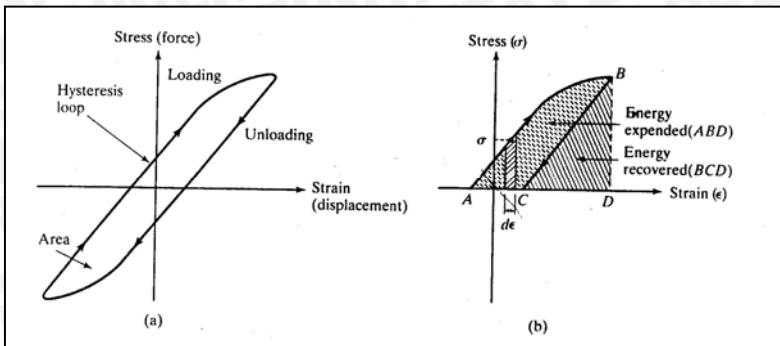
b. *Coulomb* atau *dry friction damping*

Coulomb atau *dry friction damping* adalah peredaman dengan memanfaatkan gesekan antara dua permukaan. Besar gaya peredaman ini konstan akan tetapi berlawanan arah dengan gerak benda bergetar. Hal ini terjadi karena adanya gesekan antara permukaan baik yang kering maupun dengan pelumasan.

c. *Material* atau *solid* atau *hysteristic damping*.

Material atau *solid* atau *hysteristic damping* adalah peredaman dengan memanfaatkan sifat peredam. Ketika material terdeformasi maka energi akan diserap

dan dihilangkan oleh material tersebut. Efek ini terjadi disebabkan gesekan antara butir yang mengalami slip sampai berdeformasi.

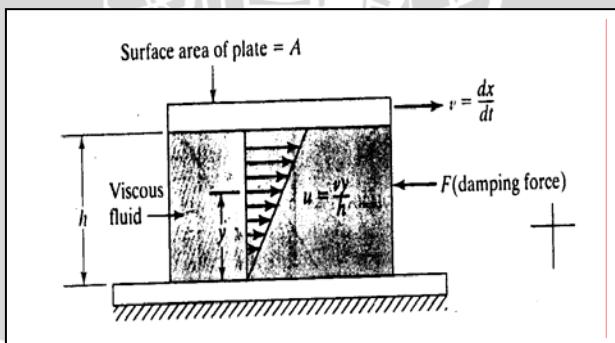


Gambar 2.8. *Hysteresis loop*
(Sumber : Rao, Singeresu S, 2004, 37)

Gambar 2.8. menunjukkan diagram *hysteresis loop* untuk *material* yang elastis. Luasan pada diagram ini menunjukkan besarnya energi yang dihilangkan setiap unit volume pada setiap siklus getaran yang teredam.

2.4. Konstruksi *Viscous Damper*

Viscous Damper dapat dibuat menggunakan dua plat yang disusun paralel dan diantaranya diberi fluida yang mempunyai viskositas. Salah satu plat mempunyai kedudukan tetap (*fixed position*) dan satunya bergerak dengan kecepatan tertentu.



Gambar 2.9. *Viscous damper* berupa plat paralel
(Sumber : Rao, Singeresu S, 2004, 38)

Gambar 2.9. menjelaskan susunan viscous damper berupa dua plat paralel yang salah satunya diam dan satunya lagi bergerak dengan kecepatan (v). Diantara dua plat tersebut diberi fluida yang mempunyai kekentalan (μ). Dengan adanya fluida tersebut maka akan timbul gaya peredaman yang dapat dirumuskan menjadi sebagai berikut :

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

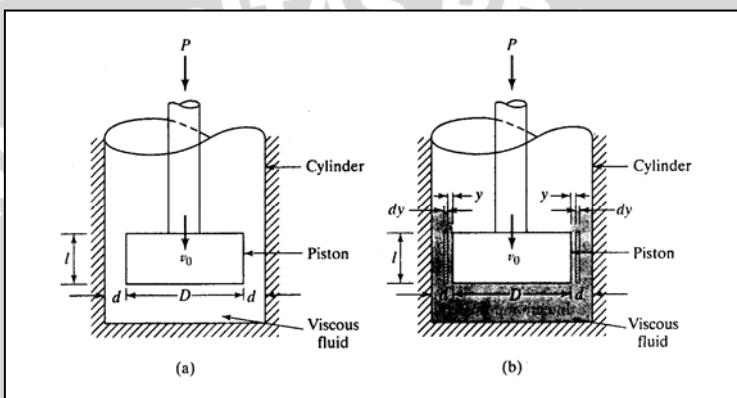
dimana $\frac{du}{dy} = \frac{v}{h}$ adalah *velocity gradient*

$$F = \tau A = \frac{\mu Av}{h} = cv$$

dimana A adalah luas permukaan plat.

$$c = \frac{\mu A}{h}$$

c adalah konsatanta peredaman.



Gambar 2.10. *Piston cylinder dashpot*
(Sumber : Rao, Singeresu S, 2004, 39)

Gambar 2.10. menjelaskan susunan *viscous damper* berupa *piston cylinder dashpot*. *Piston* berada di dalam tabung yang berisi fluida peredam. *Piston* mempunyai ketebalan (*l*), diameter (*D*), jarak kelonggaran sisi luar *piston* dan dinding dalam tabung (*d*). *Piston* bergerak translasi searah dengan sumbu tabung. Dengan adanya fluida tersebut maka akan timbul gaya peredaman yang dapat dirumuskan menjadi sebagai berikut :

$$F = \pi D l d\tau = \pi D l \frac{d\tau}{dy} dy$$

Tegangan geser diberikan dengan

$$\tau = -\mu \frac{dv}{dy}$$

Tanda negatif menunjukkan *gradient* kecepatan menurun yang konstan. Dari persamaan diatas diperoleh

$$F = -\pi D l dy \mu \frac{d^2 v}{dy^2}$$

Gaya pada piston akan menyebabkan perbedaan tekanan pada ujung elemen yang dinyatakan dengan rumus

$$P = \frac{P}{\left(\frac{\pi D^2}{4}\right)} = \frac{4P}{\pi D^2}$$

Jadi gaya tekan pada ujung elemen adalah

$$p(\pi D dy) = \frac{4P}{D} dy$$

Dimana ($\pi D dy$) menunjukkan luas *area* antara y dan ($y + dy$). Jika kita mengasumsikan kecepatan fluida seragam pada arah geraknya maka bisa didapatkan

$$\frac{4P}{D} dy = -\pi D l dy \mu \frac{d^2 v}{dy^2}$$

atau

$$\frac{d^2 v}{dy^2} = \frac{4P}{D^2 l \mu}$$

Dengan integrasi persamaan ke-2 dan kondisi batas $v = -v_0$ pada $y = 0$ dan $v = 0$ pada $y = d$ maka kita mendapatkan

$$v = \frac{2P}{\pi D^2 l \mu} (yd - y^2) - v_0 \left(1 - \frac{y}{d}\right)$$

Laju aliran rata-rata melalui jarak kelonggaran dapat kita tentukan dengan mengintegrasikan laju aliran rata-rata melalui elemen antara batas $y = 0$ dan $y = d$

$$Q = \int_0^d v \pi D dy = \pi D \left[\frac{2Pd^3}{6\pi D^2 l \mu} - \frac{1}{2} v_0 d \right]$$

Volume fluida yang mengalir melalui jarak kelonggaran tiap detik harus sama dengan volume tiap detik fluida yang dipindahkan oleh *piston*. Oleh karena itu kecepatan *piston* dapat disamakan dengan laju aliran melalui luasan *piston* sehingga dapat diperoleh

$$v_0 = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} D^2}$$

Dari 2 persamaan diatas dapat diperoleh

$$P = \left[\frac{3\pi D^3 l \left(1 + \frac{2d}{D}\right)}{4d^3} \right] \mu v_0$$



Dengan menuliskan $P = c v_0$ maka konsatanta peredaman dapat diperoleh sebagai berikut :

$$c = \mu \left[\frac{3\pi D^3 l}{4d^3} \left(1 + \frac{2d}{D} \right) \right]$$

Dengan c = konstanta peredaman

μ = viskositas fluida peredam

D = diameter piston

d = jarak kelonggaran sisi luar piston dan dinding dalam tabung

2.5. Pengukuran Peredaman

Suatu sistem getaran pada umumnya mempunyai massa, elastisitas dan peredam. Akan tetapi suatu saat pasti akan dijumpai kalau parameter tersebut tidak diketahui. Pengukuran massa dilakukan dengan menimbang berat benda tersebut, pengukuran kekakuan dengan cara percobaan yaitu dengan memberikan beban dan mengukur perpindahannya sehingga dapat diperoleh kekakuan. Nilai massa dan kekakuan diperoleh menggunakan rumusan tertentu.

Rumusan yang dipakai adalah

$$m = W/g$$

$$k = mg/x$$

Dengan m = massa (kg)

W = berat (N)

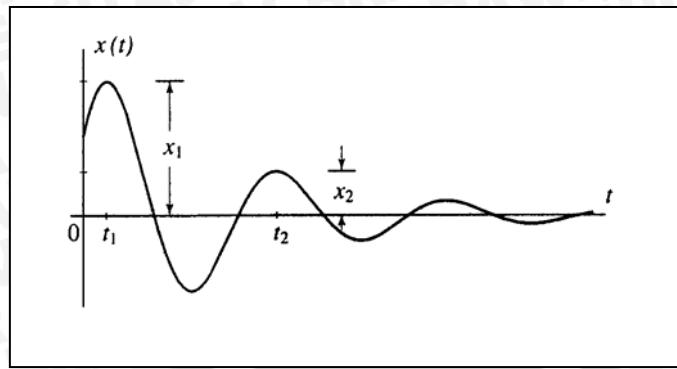
g = gravitasi (kgm/s^2)

k = kekakuan pegas (Newton/m)

x = perpindahan (m)

Pengukuran koefisien peredaman diperoleh dengan melakukan percobaan sistem getaran yaitu mengukur amplitudo pada satu siklus getaran penuh. Sebagai ilustrasi maka akan digambar satu siklus getaran di bawah ini.





Gambar 2.11. Response getaran teredam
(Sumber : Meirovitch, Leonard, 2001, 94)

Gambar 2.11. menjelaskan tentang satu siklus getaran. Grafik diatas menunjukkan hubungan antara amplitudo waktu. t_1 dan t_2 adalah waktu saat terjadi puncak / amplitudo terbesar satu dan kedua yang dinyatakan dalam x_1 dan x_2 .

Dengan membandingkan kedua puncak tersebut dapat diperoleh

$$\frac{x_1}{x_2} = \frac{x(t_1)}{x(t_2)} = \frac{Ce^{-\xi\omega_n t_1} \cos(\omega_d t_1 - \phi)}{Ce^{-\xi\omega_n t_2} \cos(\omega_d t_2 - \phi)} = \frac{e^{-\xi\omega_n t_1} \cos(\omega_d t_1 - \phi)}{e^{-\xi\omega_n t_2} \cos(\omega_d t_2 - \phi)}$$

Karena $t_2 = t_1 + T$ dan $T = \frac{2\pi}{\omega_d}$ adalah periode getaran teredam maka

$$\begin{aligned} \frac{x_1}{x_2} &= \frac{e^{-\xi\omega_n t_1} \cos(\omega_d t_1 - \phi)}{e^{-\xi\omega_n (t_1+T)} \cos[\omega_d (t_1+T) - \phi]} = \frac{e^{-\xi\omega_n t_1} \cos(\omega_d t_1 - \phi)}{\cos(\omega_d t_1 - \phi + 2\pi)} \\ \frac{x_1}{x_2} &= e^{2\pi\xi\omega_n T} = e^{\xi\omega_n \frac{\omega_n}{\omega_d}} = e^{\frac{2\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}} \end{aligned}$$

Dari persamaan eksponensial diatas dapat kita peroleh

$$\delta = \ln \frac{x_1}{x_2} = \frac{2\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}$$

Dimana δ adalah *logarithmic decrement*. Persamaan diatas dapat dipecahkan menjadi faktor peredaman ξ dengan rumusan sebagai berikut:

$$\xi = \frac{\delta}{\sqrt{(2\pi)^2 + \delta^2}}$$

Untuk peredaman yang kecil ($\xi \ll 1$) maka persamaan diatas dapat disederhanakan menjadi

$$\zeta \approx \frac{\delta}{2\pi}$$

Faktor peredaman dapat dihitung secara lebih teliti dengan mengukur perpindahan pada dua waktu berbeda dalam beberapa periode. Dengan menotasikan x_1 dan x_{j+1} sebagai puncak perpindahan dalam waktu t_1 dan $t_{j+1} = t_1 + jT$ dan $j =$ integer maka dapat diperoleh persamaan perbandingan sebagai berikut:

$$\frac{x_1}{x_{j+1}} = \frac{x_1}{x_2} \frac{x_2}{x_3} \dots \frac{x_j}{x_{j+1}} = (e^{\frac{2\pi\xi/\sqrt{1-\xi^2}}{j}})^2$$

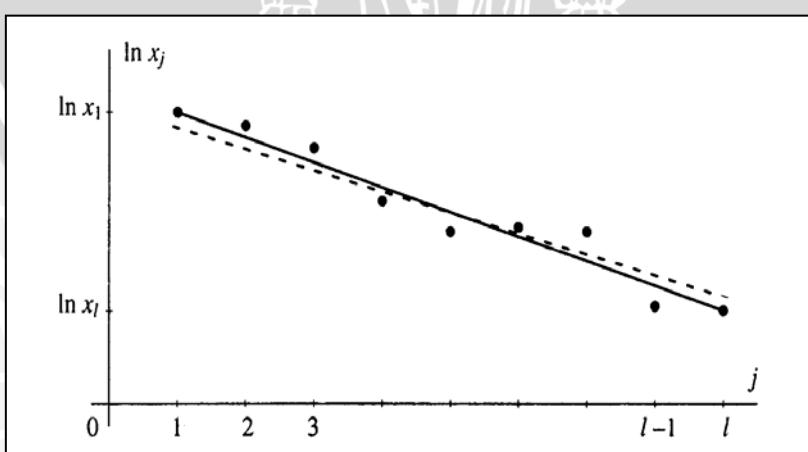
Dari persamaan diatas maka dapat diperoleh *logarithmic decrement*

$$\delta = \frac{2\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} = \frac{1}{j} \ln \frac{x_1}{x_{j+1}}$$

Perhitungan diatas didasarkan pada pengukuran dua puncak perpindahan yaitu pada x_1 dan x_{j+1} . Pengukuran peredaman ini akan lebih teliti dengan menggunakan pengukuran amplitudo puncak perpindahan secara berurutan, akan tetapi cara ini tetap mudah menyebabkan kesalahan terutama untuk peredaman yang kecil karena pengukuran amplitudo masing-masing puncak perpindahan tiap waktu sulit diukur secara teliti. Untuk meminimalkan tingkat kesalahan maka bisa digunakan perhitungan sebagai berikut:

$$\ln x_j = \ln x_1 - \delta(j-1), \quad j=1,2,3,\dots,l$$

Gambar persamaan hubungan antara $\ln x_j$ dan x_j diatas adalah berupa garis lurus dengan kemiringan $-\delta$. Persamaan diatas dapat digambarkan dalam grafik di bawah ini.



Gambar 2.12. Grafik hubungan *natural logarithmic* amplitudo dan nomor pengukuran
(Sumber : Meirovitch, Leonard, 2001, 96)

Gambar 2.12. menjelaskan tentang grafik hubungan natural logarithmic amplitudo dan nomor pengukuran. Karena pengukuran tidak dapat secara pasti sehingga titik-titik $\ln x_2, \ln x_3, \dots, \ln x_{l-1}$ tidak terletak dalam satu garis. Nilai $\ln x$ masing-masing pengukuran dapat diwakili oleh garis yang ditarik dari $\ln x_1$ ke $\ln x_l$ atau mencari regresi dari kurva tersebut untuk meminimalkan tingkat kesalahan.

Setelah mendapatkan nilai faktor peredaman (*damping ratio*) maka kita dapat menghitung besarnya nilai konstanta peredaman dari rumusan sebagai berikut:

$$\left(\frac{c_c}{2m} \right)^2 - \frac{k}{m} = 0$$

$$c_c = 2m\sqrt{\frac{k}{m}} = 2\sqrt{km} = 2m\omega_n$$

Pada sistem getaran bebas teredam *damping ratio* didefinisikan sebagai perbandingan antara konstanta peredaman dengan konstanta peredaman kritis. Persamaan damping ratio dinyatakan dalam

$$\xi = \frac{c}{c_c}$$

$$c = c_c \xi$$

Sehingga diperoleh rumusan untuk konstanta peredaman yaitu

$$c = 2m\sqrt{\frac{k}{m}} \xi$$

2.6. Macam – Macam Peredaman

Ada 3 macam peredaman pada sistem getaran:

1. *Underdamped system* ($\zeta < 1$ atau $c < c_c$ atau $\frac{c}{2m} < \sqrt{\frac{k}{m}}$).

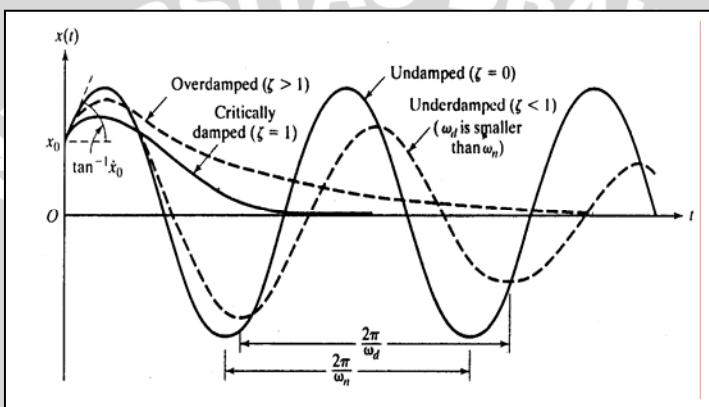
Getaran yang mengalami jenis peredaman ini mempunyai frekuensi yang lebih kecil daripada frekuensi natural sebelum teredam dan sebaliknya periodenya semakin besar. Massa yang bergetar masih sempat berosilasi dan membentuk getaran lagi setelah menyelesaikan satu getaran.

2. *Critically damped system* ($\zeta = 1$ atau $c = c_c$ atau $\frac{c}{2m} = \sqrt{\frac{k}{m}}$).

Getaran yang mengalami jenis peredaman ini mempunyai frekuensi yang sama dengan frekuensi natural sebelum teredam serta mempunyai periode yang sama pula. Massa sudah tidak bergetar lagi setelah teredam dalam waktu satu periode dan berada dalam kedudukan setimbang terhadap titik acuannya.

3. Overdamped system ($\zeta > 1$ atau $c > c_c$ atau $\frac{c}{2m} > \sqrt{\frac{k}{m}}$)

Getaran yang mengalami jenis peredaman ini mempunyai frekuensi yang lebih kecil daripada frekuensi natural sebelum teredam dan sebaliknya periodenya semakin besar, akan tetapi massa sudah tidak dapat lagi berosilasi setelah menempuh satu periode getaran.



Gambar 2.13. Macam macam peredaman
(Sumber : Rao, Singeresu S, 2004, 145)

Gambar 2.13. menunjukkan macam-macam peredaman yaitu *Underdamped system*, *Critically damped system*, dan *Overdamped system*.

2.7. Koefisien Kerugian Pada Plat Perforasi

Perforasi adalah alat pengkondisi aliran untuk menghancurkan aliran turbulen pada pipa. Penggunaan *piston cylinder dashpot* dapat dikatakan sebagai perforasi yang mempunyai tujuan untuk menghambat aliran fluida peredam yang melalui piston. Hambatan ini berasal dari gesekan antara fluida dan *piston* yang akan mengurangi energi kinetik massa yang bergetar.



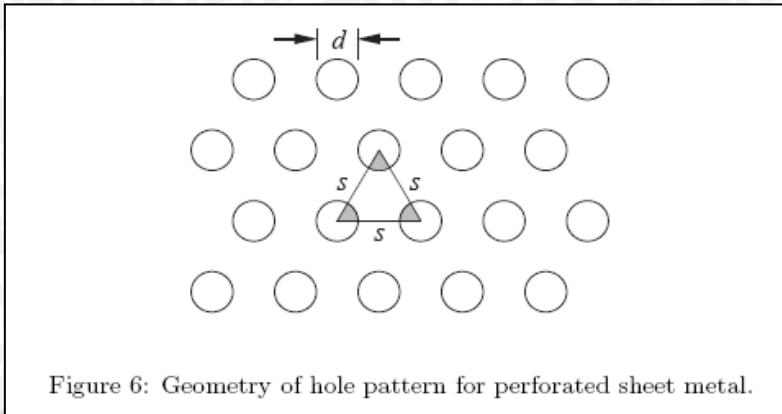


Figure 6: Geometry of hole pattern for perforated sheet metal.

Gambar 2.14. Geometri lubang pada plat perforasi.
(Sumber : Lab assignment, 2006, 10)

Gambar 2.14. menunjukkan susunan lubang plat perforasi yang mempunyai diameter (d) dan jarak antar lubang (s). Perforasi di atas mempunyai kerugian sebagai berikut:

$$h_L = K_L \frac{v^2}{2g}$$

Dengan h_L = minor head losses

K_L = losses coefficient

v = kecepatan fluida

g = gravitasi.

Masing - masing plat perforasi akan mempunyai *losses coefficient* yg berbeda. Hal ini dipengaruhi oleh jumlah dan susunan lubang dan dapat dicari dengan cara sebagai berikut:

$$\int = \frac{A_{ft}}{A_t}$$

Dengan A_{ft} = *The free area of triangle* (luasan kosong segitiga)

A_t = *The area of triangle* (luasan segitiga)

$$K_L = \frac{1}{\int} \left[0,707 \sqrt{1-\int} + (1-\int) \right]^2$$

Dimana K_L = losses coefficient

\int = free area ratio

Dari persamaan diatas maka dapat disimpulkan bahwa dengan semakin banyak jumlah lubang yang dibuat pada perforasi maka jumlah luasan kosong segitiga (*the free area of triangle*) akan semakin besar sehingga menyebabkan semakin besar pula *free area rationya*. Dengan *free area ratio* yang semakin besar menyebabkan *losses coefficient* yang ditimbulkan perforasi semakin kecil. Nilai *losses coefficient* akan mempengaruhi nilai peredaman yang terjadi pada getaran yaitu semakin besar nilai *losses coefficient* maka peredaman semakin besar dan semakin kecil nilai *losses coefficient* maka peredaman semakin kecil.

2.8. Hipotesis

Jumlah lubang pada *piston* akan mempengaruhi besarnya konstanta peredaman yang dialami oleh massa yang bergetar. Semakin banyak jumlah lubang *piston* yang diberikan maka akan semakin kecil konstanta peredaman hal ini karena hambatan fluida peredam akan semakin kecil dengan semakin banyaknya lubang karena luas penampang *piston* yang semakin kecil. Demikian juga sebaliknya semakin sedikit jumlah lubang *piston* yang diberikan maka akan semakin besar konstanta yang dihasilkan peredaman hal ini karena hambatan fluida peredam akan semakin besar dengan semakin banyaknya lubang karena luas penampang *piston* yang semakin besar.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

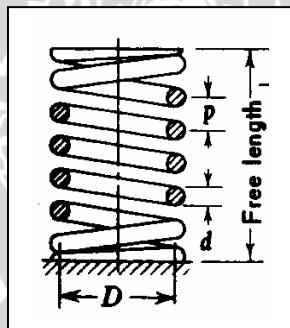
Metode yang digunakan untuk melakukan penelitian ini adalah metode penelitian nyata (*true experimental research*). Pemilihan model ini menggunakan variasi jumlah lubang penampang *piston cylindre dashpot viscous damper* untuk mencari pengaruhnya terhadap nilai *damping ratio* dan konstanta peredaman pada sistem getaran bebas satu derajat kebebasan.

3.2. Benda Uji dan Peralatan

3.2.1. Benda Uji

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pegas



Gambar 3.1. *Helical spring*
(Sumber: Black Paul H, 1980, 208)

Gambar 3.1. menunjukkan pegas yang dipakai dalam penelitian yang mempunyai diameter, diameter wire, panjang, *pitch* dan konstanta pegas yang diukur.

Pegas yang dipakai ada 2 buah dengan spesifikasi sebagai berikut :

Pegas 1

- Diameter (D) : 50 mm.
- Diameter wire(d) : 4,1 mm.
- Panjang : 152 mm.
- *Picth* (p) : 8,4 mm.
- Konstanta Pegas : 1,22 kN/m.

Pegas 2

- Diameter (D) : 50 mm.
- Diameter wire(d) : 5,4 mm.

- Panjang : 151 mm.
- $Picth (p)$: 9,1 mm.
- Konstanta Pegas : 3,3 kN/m.

2. Viscous Damper

Viscous Damper yang dipakai adalah jenis *piston cylindre dashpot* yang mempunyai spesifikasi sebagai berikut :

- Diameter luar silinder : 75 mm.
- Diameter dalam silinder : 68,5 mm.
- Tinggi silinder : 125,9 mm.
- Diameter *piston* : 60 mm.
- Diameter lubang *piston* : 7 mm.
- Tebal *piston* : 12 mm.
- Kelonggaran sisi luar *piston* dan sisi dalam silinder : 4,25 mm.

3.2.2. Peralatan

Peralatan uji yang dipakai dalam pelaksanaan penelitian ini adalah :

1. Simple Vibration Apparatus.

Alat ini digunakan untuk memperoleh respon getaran pada sistem getaran bebas satu derajat kebebasan dan mempunyai spesifikasi sebagai berikut :

- Merk : Sanderson.
- Massa frame : 1,7 kg.
- Kecepatan *roll paper* : $0,02 \text{ m/s}$.



Gambar 3.2. *Simple vibration apparatus*

Gambar 3.2. menunjukkan alat yang dipakai dalam penelitian untuk mendapatkan respon getaran yang diinginkan.

2. Kertas fax dan bolpoin.

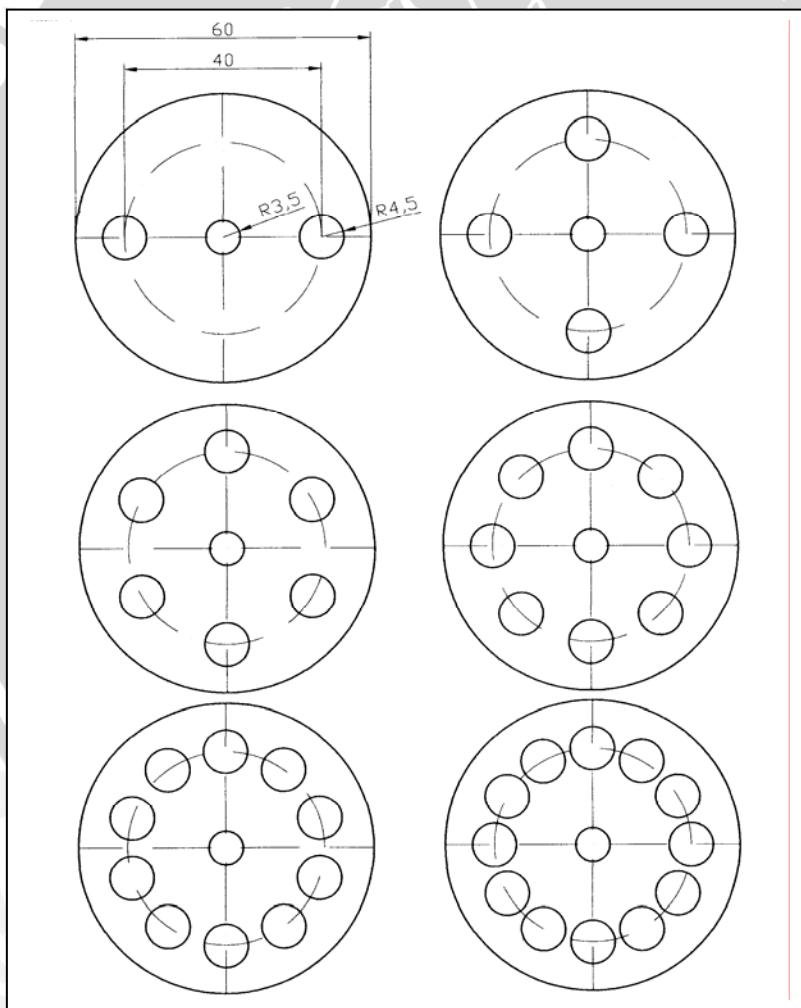
Kertas fax digunakan untuk merekam getaran yang dihasilkan sehingga dapat diperoleh data getaran.

3.3. Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian terdiri atas variabel bebas, variabel terikat serta variabel terkontrol.

1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang kita variasikan. Penelitian ini mengambil variabel bebas berupa jumlah dan diameter lubang penampang *piston cylindre dashpot*. Jumlah lubang yang divariasikan adalah sebanyak 2, 4, 6, 8, 10,12 dan berdiameter 5 mm, 7 mm dan 9 mm yang masing - masing lubang terletak dalam satu garis melingkar. Variabel bebas dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 3.3. Variasi jumlah dan diameter lubang penampang *piston*

Gambar 3.3 menunjukkan variasi yang akan dilakukan dalam penelitian yaitu variasi jumlah dan diameter lubang penampang *piston*.

2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya akan dicari dalam penelitian ini dan tergantung pada variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah besarnya nilai damping ratio dan konstanta peredaman dalam sistem getaran satu derajat kebebasan.

3. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang dijaga konstan sehingga hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat dapat diketahui secara benar. Variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Viskositas fluida peredam.
- Ketinggian *piston* terhadap fluida peredam.
- Pemberian defleksi awal.

3.4. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Fenomena Dasar Mesin Jurusan Mesin Universitas Brawijaya Malang. Waktu penelitian pada bulan Februari 2007 sampai selesai.

3.5. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini ada dua tahap yaitu persiapan percobaan dan pelaksanaaan percobaan.

Persiapan percobaan meliputi :

1. Pembuatan bentuk dan dimensi lubang piston sesuai dengan variasi yang diinginkan dalam penelitian.
2. Persiapan peralatan perekam data getaran yaitu berupa kertas fax dan bolpoin.
3. Pengecekan motor roller paper agar saat pengambilan data berjalan dengan baik.
4. Pengecekan variabel terkontrol yang sudah ditetapkan secara teliti untuk menghindari tingkat kesalahan pengambilan data.
5. Pemasangan piston cylindre dashpot untuk pengambilan data variasi pertama.

Pelaksanaan percobaan untuk mengambil data getaran meliputi :

1. Pemberian defleksi awal sampai sampai dasar.
2. Penyalaan motor sehingga roller dapat dipastikan telah berputar.

3. Melepaskan pegas sehingga diperoleh data getaran.
4. Ulangi untuk masing – masing variasi.

3.6. Prosedur Pengambilan Data

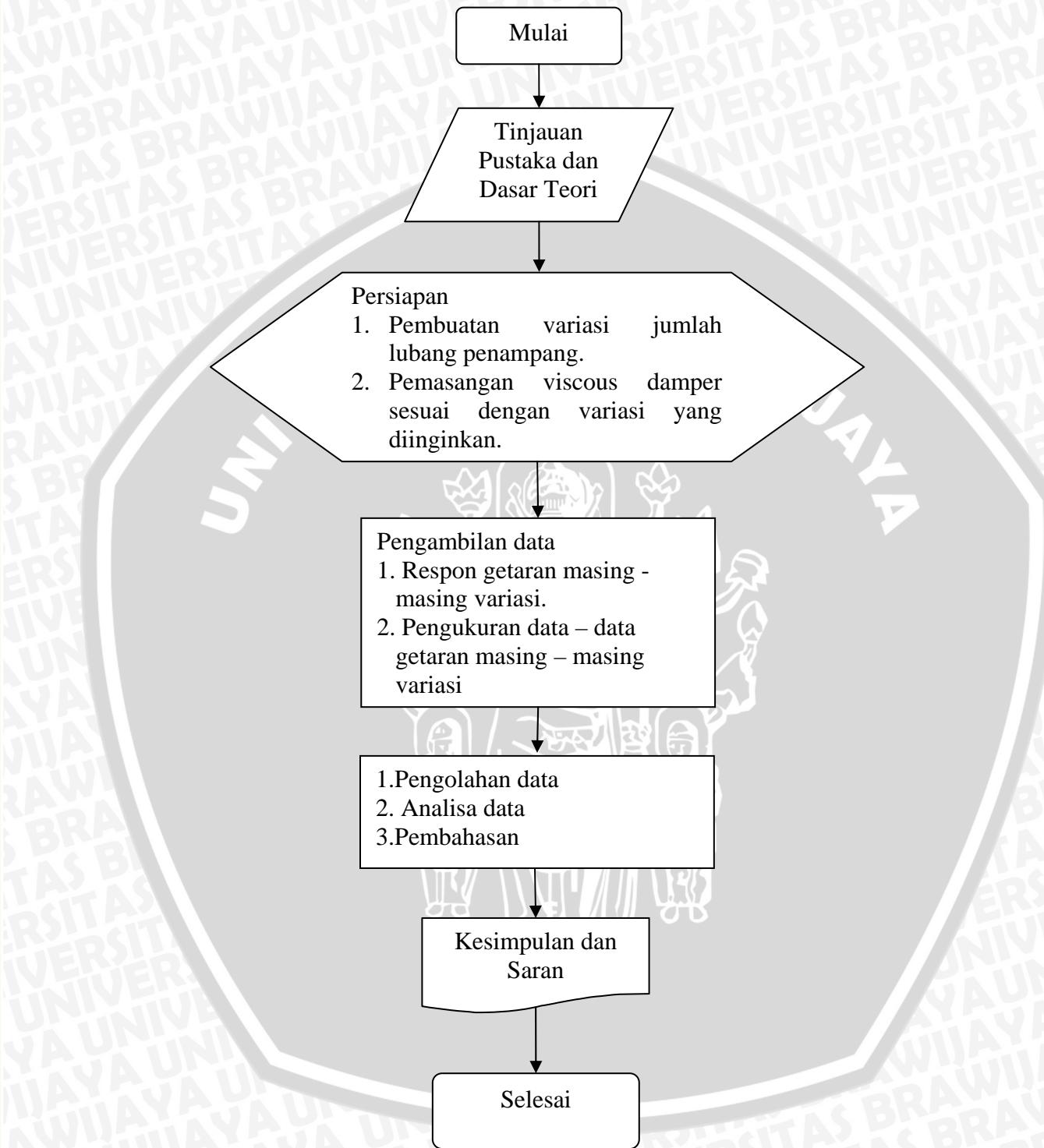
Pengambilan data getaran dilakukan pada 2 pegas pada massa 4 kg dan 5 kg dengan variasi jumlah dan diameter lubang *piston*. Rancangan pengambilan data dapat dicontohkan dalam bentuk sebagai berikut:

Tabel 3.1. Contoh data penelitian dengan jumlah lubang 2, $d = 5$ mm pada $k = 1,22$ kN/m, $m = 3,7$ kg.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

Tabel 3.1. adalah contoh rencana pengambilan data yang akan dilakukan dalam penelitian ini yaitu mengambil data amplitudo, panjang gelombang dan menghitung nilai frekuensi, damping ratio dan konstanta peredaman.

3.7. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.4. Diagram alir penelitian

Gambar 3.4 menunjukkan diagram alir penelitian yang digunakan dalam penelitian ini.



BAB IV

DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Perhitungan

4.1.1. Perhitungan Frekuensi Natural

Frekuensi natural sistem getaran harus diketahui untuk menghindari resonansi ketika sistem getaran tersebut diberi gaya paksa.

- Sistem getaran dengan menggunakan pegas $k = 1,22 \text{ kN/m}$ dan $m = 3,7 \text{ kg}$.

$$\begin{aligned}\omega_n &= \sqrt{\frac{k}{m}} \\ &= \sqrt{\frac{1220}{3,7}} \\ &= 18,16 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

- Sistem getaran dengan menggunakan pegas $k = 1,22 \text{ kN/m}$ dan $m = 4,7 \text{ kg}$.

$$\begin{aligned}\omega_n &= \sqrt{\frac{k}{m}} \\ &= \sqrt{\frac{1220}{4,7}} \\ &= 16,11 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

- Sistem getaran dengan menggunakan pegas $k = 3,3 \text{ kN/m}$ dan $m = 3,7 \text{ kg}$.

$$\begin{aligned}\omega_n &= \sqrt{\frac{k}{m}} \\ &= \sqrt{\frac{3300}{3,7}} \\ &= 29,86 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

- Sistem getaran dengan menggunakan pegas $k = 3,3 \text{ kN/m}$ dan $m = 4,7 \text{ kg}$.

$$\begin{aligned}\omega_n &= \sqrt{\frac{k}{m}} \\ &= \sqrt{\frac{3300}{4,7}} \\ &= 26,5 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

4.1.2. Perhitungan Frekuensi Teredam

Alat Simple Vibration yang dipakai pada penelitian ini memakai *roll paper* yang mempunyai kecepatan $v = 0.02 \text{ m/s}$ sehingga untuk sistem getaran menggunakan pegas $k = 1,22 \text{ kN/m}$, $m = 3,7 \text{ kg}$ dan peredam penampang dengan jumlah lubang 6 berdiameter 5 mm dapat diperoleh perhitungan frekuensi getaran sebagai berikut:

$$\begin{aligned} f &= \frac{v}{\lambda} \\ &= \frac{0.02}{0.0075} \\ &= 2,67 \text{ Hz} \end{aligned}$$

4.1.3. Perhitungan Konstanta Peredaman *Piston cylinder dashpot Viscous Damping*

Peredaman ini merupakan pereedaman menggunakan *piston cylinder dashpot* hasil penelitian dikurangi peredaman alamiah.

Untuk sistem getaran dengan menggunakan pegas $k = 1,22 \text{ kN/m}$ dan $m = 3,7 \text{ kg}$ menggunakan peredam *piston cylinder dashpot* dengan jumlah lubang 2 dan diameter lubang 5 mm diperoleh konstanta peredaman sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \bullet \delta &= \frac{1}{j} \ln \frac{x_1}{x_{j+1}} \\ &= \frac{1}{4} \ln \frac{18}{3} \\ &= 0,448 \\ \bullet \zeta &= \frac{\delta}{\sqrt{(2\pi)^2 + \delta^2}} \\ &= \frac{0,448}{\sqrt{(2\pi)^2 + 0,448^2}} \\ &= 0,071147 \\ \bullet c &= 2m\sqrt{\frac{k}{m}} \zeta \\ &= 2 \times 3,7 \times \sqrt{\frac{1220}{3,7}} \times 0,071147 \\ &= 9,560242 \text{ Ns/m} \end{aligned}$$

4.2. Data Perhitungan

4.2.1. Data perhitungan sistem getaran dengan menggunakan pegas $k = 1,22 \text{ kN/m}$ dan $m = 3,7 \text{ kg}$.

Tabel 4.1. Data perhitungan sistem getaran dengan menggunakan pegas $k = 1,22 \text{ kN/m}$ dan $m = 3,7 \text{ kg}$.

No	Diameter Lubang	Jumlah Lubang	Frekuensi	Damping Ratio	Konstanta Peredaman
1	5	2	2,574731	0,071030	9,544505
		4	2,591398	0,070395	9,459112
		6	2,608065	0,070226	9,436506
		8	2,624731	0,067186	9,027969
		10	2,641398	0,065948	8,861584
		12	2,658065	0,065366	8,783454
2	7	2	2,583333	0,065088	8,746049
		4	2,608065	0,059894	8,048132
		6	2,633333	0,052966	7,117224
		8	2,650000	0,050661	6,807460
		10	2,685714	0,049464	6,646582
		12	2,704762	0,045097	6,059783
3	9	2	2,602381	0,060469	8,125342
		4	2,633333	0,060264	8,097862
		6	2,650000	0,052691	7,080227
		8	2,685714	0,048991	6,583072
		10	2,704762	0,047735	6,414258
		12	2,735386	0,042563	5,719261
4	Standart		2,558065	0,072807	8,861584

Tabel 4.1. menunjukkan hasil penelitian berupa frekuensi, *damping ratio*, dan konstanta peredaman pada sistem getaran yang menggunakan pegas $k = 1,22 \text{ kN/m}$ dan $m = 3,7 \text{ kg}$ dengan variasi yang telah ditentukan.



4.2.2. Data perhitungan sistem getaran dengan menggunakan pegas $k = 1,22 \text{ kN/m}$ dan $m = 4,7 \text{ kg}$.

Tabel 4.2. Data perhitungan sistem getaran dengan menggunakan pegas $k = 1,22 \text{ kN/m}$ dan $m = 4,7 \text{ kg}$.

No	Diameter Lubang	Jumlah Lubang	Frekuensi	Damping Ratio	Konstanta Peredaman
1	5	2	2,251118	0,064498	9,767987
		4	2,287582	0,064111	9,709382
		6	2,313725	0,063536	9,622226
		8	2,326797	0,061665	9,338986
		10	2,356209	0,061180	9,265429
		12	2,397059	0,060827	9,212008
2	7	2	2,274510	0,057660	8,732469
		4	2,302288	0,054006	8,178976
		6	2,326797	0,048749	7,382806
		8	2,346999	0,043794	6,632509
		10	2,367647	0,043620	6,606131
		12	2,404189	0,041294	6,253763
3	9	2	2,287582	0,056751	8,594737
		4	2,301061	0,056101	8,496297
		6	2,354575	0,048186	7,297571
		8	2,374777	0,043451	6,580538
		10	2,412953	0,043122	6,530687
		12	2,441176	0,037939	5,745701
4	Standart		2,248366	0,065237	9,879941

Tabel 4.2. menunjukkan hasil penelitian berupa frekuensi, *damping ratio*, dan konstanta peredaman pada sistem getaran yang menggunakan pegas $k = 1,22 \text{ kN/m}$ dan $m = 4,7 \text{ kg}$ dengan variasi yang telah ditentukan.

4.2.3. Data perhitungan sistem getaran dengan menggunakan pegas $k = 3,3 \text{ kN/m}$ dan $m = 3,7 \text{ kg}$.

Tabel 4.3. Data perhitungan sistem getaran dengan menggunakan pegas $k = 3,3 \text{ kN/m}$ dan $m = 3,7 \text{ kg}$.

No	Diameter Lubang	Jumlah Lubang	Frekuensi	Damping Ratio	Konstanta Peredaman
1	5	2	4,500000	0,048233	10,659365
		4	4,526144	0,044184	9,764522
		6	4,581699	0,043645	9,645460
		8	4,611111	0,043258	9,559879
		10	4,666667	0,043216	9,550585
		12	4,712418	0,042553	9,404126
2	7	2	4,549020	0,042099	9,303746
		4	4,581699	0,039707	8,775138
		6	4,607843	0,036140	7,986851
		8	4,637255	0,032429	7,166826
		10	4,715686	0,029561	6,532878
		12	4,745098	0,026978	5,962111
3	9	2	4,555556	0,041448	9,159987
		4	4,611111	0,038672	8,546444
		6	4,666667	0,035178	7,774348
		8	4,689542	0,032013	7,074854
		10	4,715686	0,029251	6,464386
		12	4,748366	0,025274	5,585398
4	Standart		4,470588	0,044827	9,906737

Tabel 4.3. menunjukkan hasil penelitian berupa frekuensi, *damping ratio*, dan konstanta peredaman pada sistem getaran yang menggunakan pegas $k = 3,3 \text{ kN/m}$ dan $m = 3,7 \text{ kg}$ dengan variasi yang telah ditentukan.



4.2.4. Data perhitungan sistem getaran dengan menggunakan pegas $k = 3,3 \text{ kN/m}$ dan $m = 4,7 \text{ kg}$.

Tabel 4.4. Data perhitungan sistem getaran dengan menggunakan pegas $k = 3,3 \text{ kN/m}$ dan $m = 4,7 \text{ kg}$.

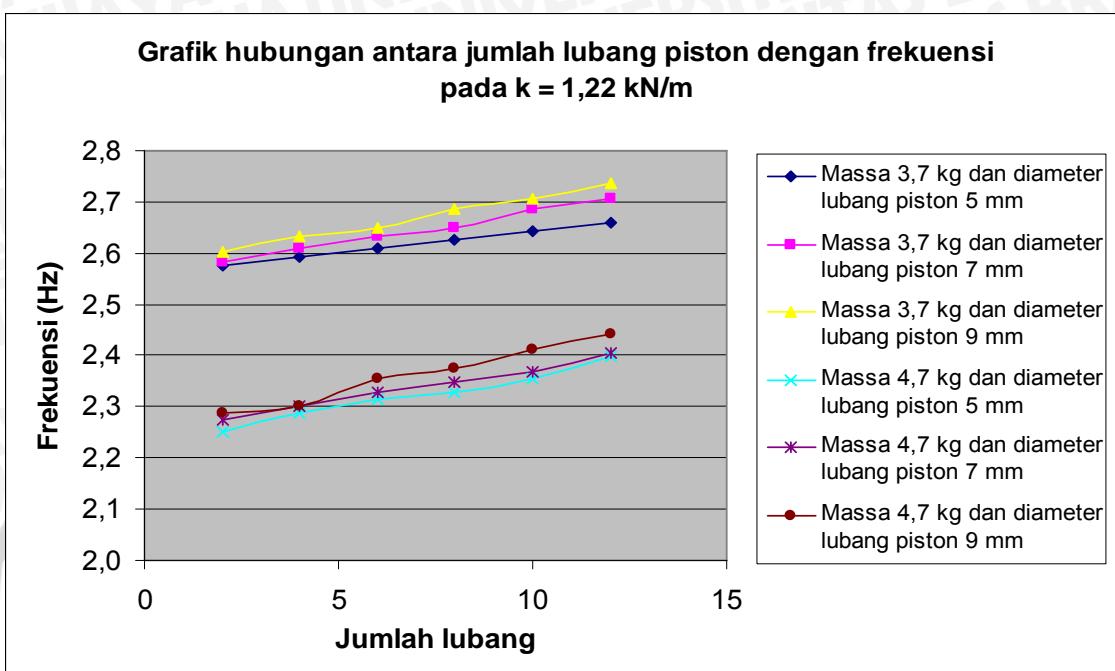
No	Diameter Lubang	Jumlah Lubang	Frekuensi	Damping Ratio	Konstanta Peredaman
1	5	2	4,044444	0,040777	10,156705
		4	4,088889	0,040099	9,987870
		6	4,133333	0,039585	9,859833
		8	4,177778	0,038916	9,693166
		10	4,198830	0,037746	9,401787
		12	4,222222	0,037067	9,232682
2	7	2	4,044444	0,037871	9,432858
		4	4,088889	0,035559	8,856919
		6	4,177778	0,032204	8,021438
		8	4,194152	0,028366	7,065357
		10	4,215205	0,026448	6,587578
		12	4,236257	0,024745	6,163332
3	9	2	4,147368	0,037453	9,328851
		4	4,240936	0,035259	8,782270
		6	4,308772	0,031841	7,930794
		8	4,374269	0,027980	6,969111
		10	4,421053	0,025339	6,311385
		12	4,453216	0,021121	5,260797
4	Standart		3,982957	0,041396	10,310950

Tabel 4.4. menunjukkan hasil penelitian berupa frekuensi, *damping ratio*, dan konstanta peredaman pada sistem getaran yang menggunakan pegas $k = 3,3 \text{ kN/m}$ dan $m = 4,7 \text{ kg}$ dengan variasi yang telah ditentukan.

4.3. Pembahasan

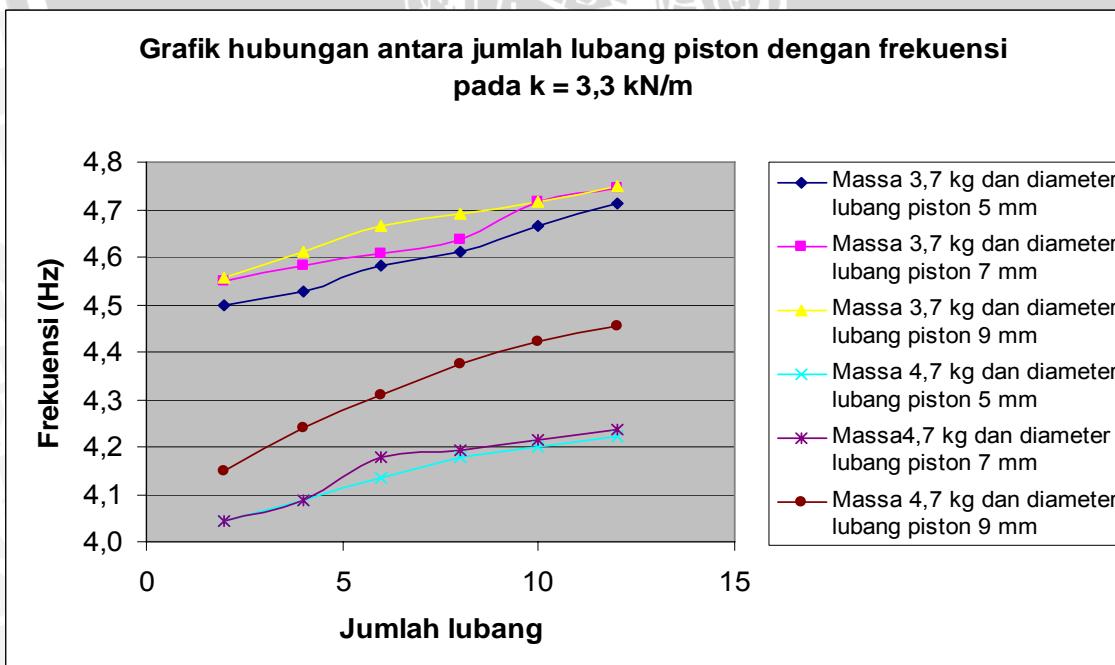
4.3.1. Grafik

4.3.1.1. Grafik hubungan antara jumlah lubang *piston cylinder dashpot* dengan frekuensi pada $k = 1,22 \text{ kN/m}$.



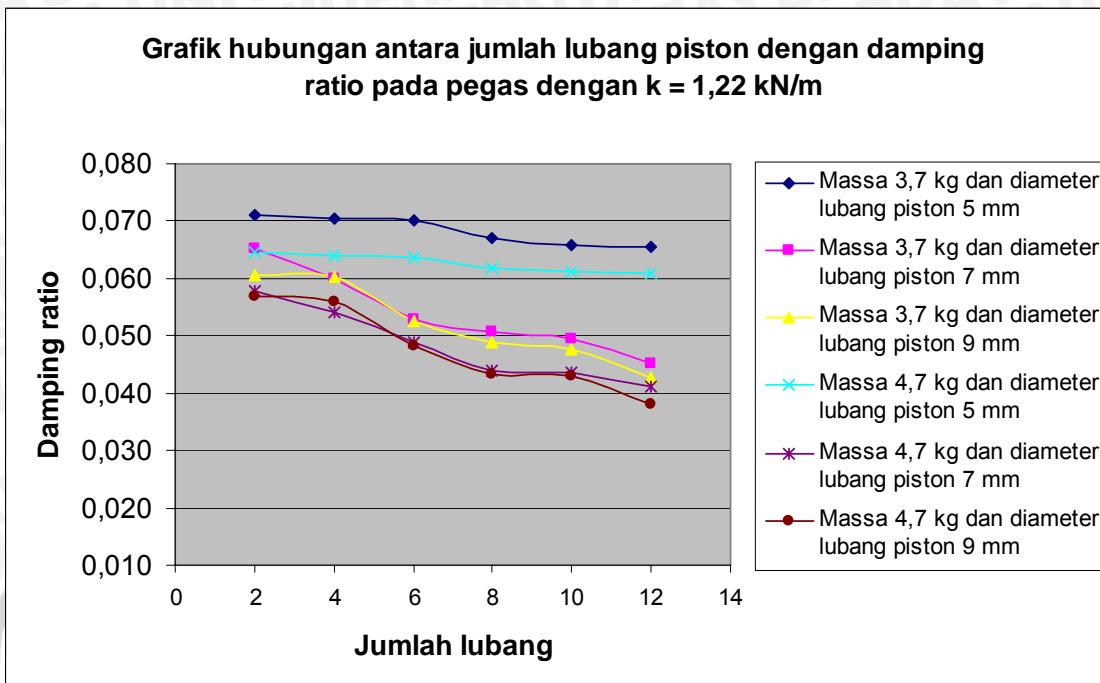
Gambar 4.1. Grafik hubungan antara jumlah lubang *piston cylinder dashpot* dengan frekuensi pada $k = 1,22 \text{ kN/m}$.

4.3.1.2. Grafik hubungan antara jumlah lubang *piston cylinder dashpot* dengan frekuensi pada $k = 3,3 \text{ kN/m}$



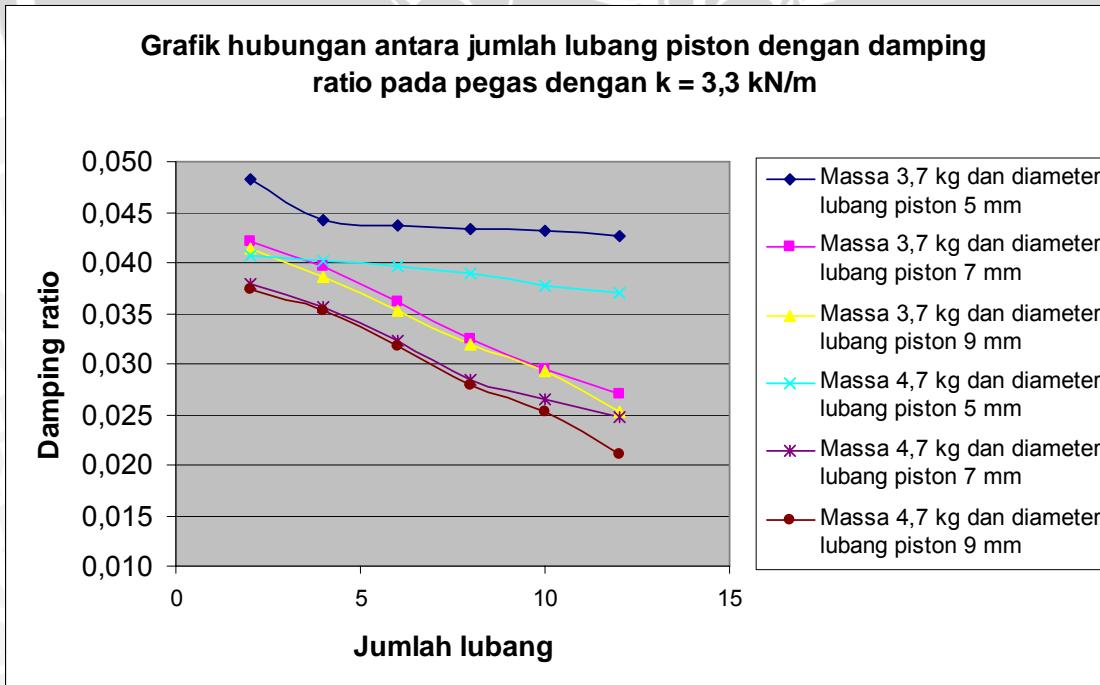
Gambar 4.2. Grafik hubungan antara jumlah lubang *piston cylinder dashpot* dengan frekuensi pada $k = 3,3 \text{ kN/m}$.

4.3.1.3. Grafik hubungan antara jumlah lubang piston cylinder dashpot dengan damping ratio pada pegas dengan $k = 1,22 \text{ kN/m}$.



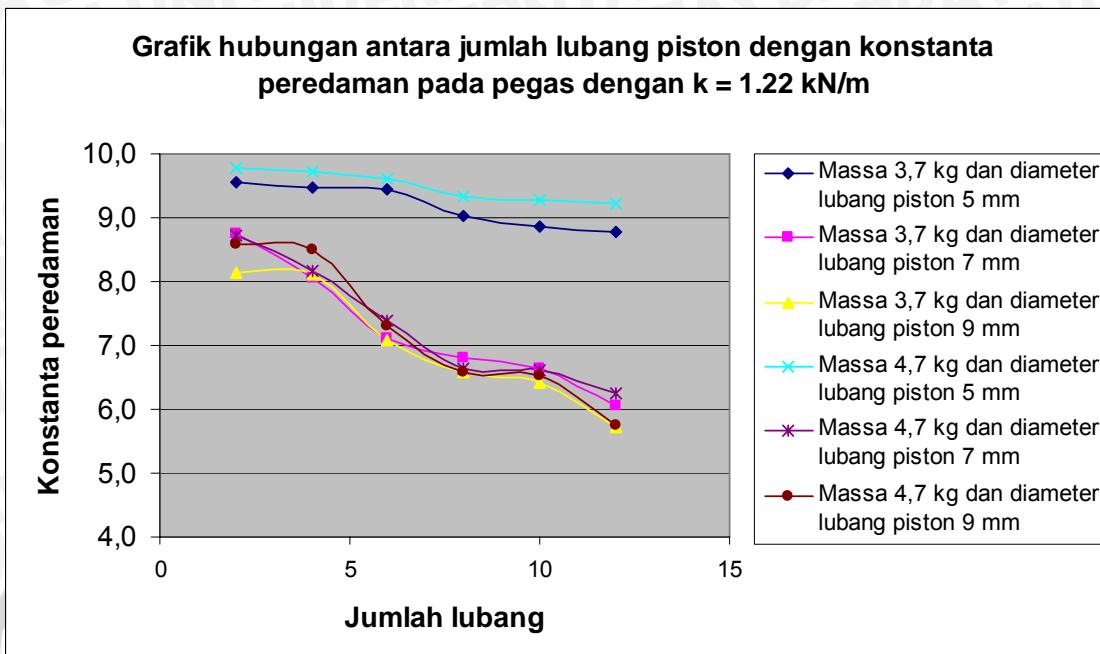
Gambar 4.3. Grafik hubungan antara jumlah lubang piston cylinder dashpot dengan damping ratio pada pegas dengan $k = 1,22 \text{ kN/m}$.

4.3.1.4. Grafik hubungan antara jumlah lubang piston cylinder dashpot dengan damping ratio pada pegas dengan $k = 3,3 \text{ kN/m}$.



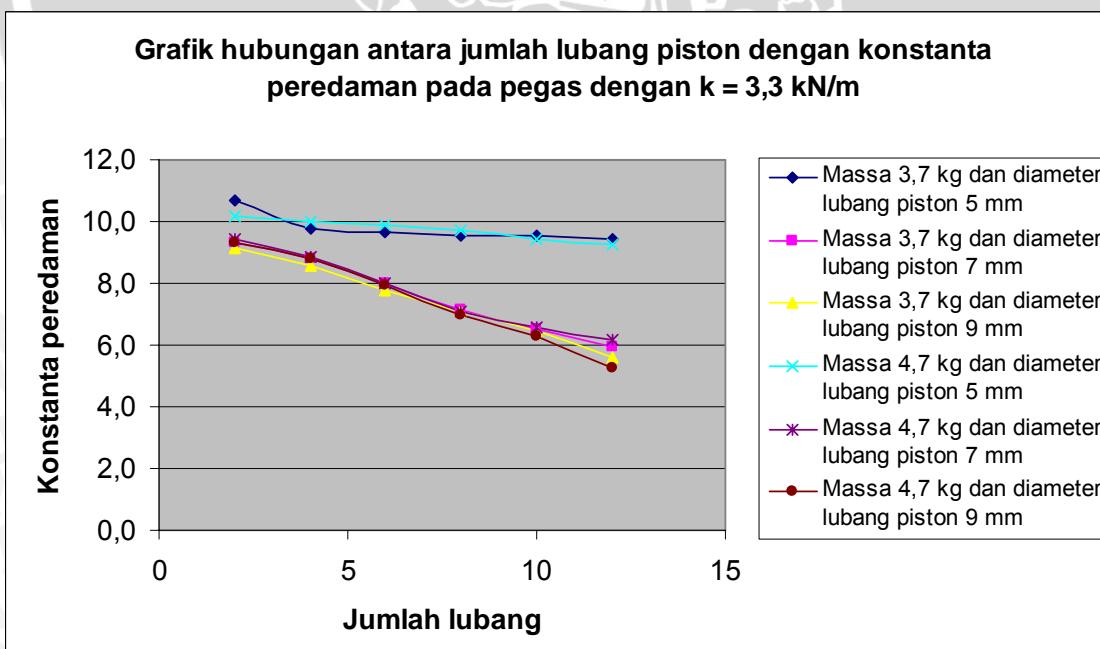
Gambar 4.4. Grafik hubungan antara jumlah lubang piston cylinder dashpot dengan damping ratio pada pegas dengan $k = 3,3 \text{ kN/m}$.

4.3.1.5. Grafik hubungan antara jumlah lubang piston cylinder dashpot dengan konstanta peredaman pada pegas dengan $k = 1.22 \text{ kN/m}$.



Gambar 4.5. Grafik hubungan antara jumlah lubang piston cylinder dashpot dengan konstanta peredaman pada pegas dengan $k = 1.22 \text{ kN/m}$.

4.3.1.6. Grafik hubungan antara jumlah lubang piston cylinder dashpot dengan konstanta peredaman pada pegas dengan $k = 3,3 \text{ kN/m}$.



Gambar 4.6. Grafik hubungan antara jumlah lubang piston cylinder dashpot dengan konstanta peredaman pada pegas dengan $k = 3,3 \text{ kN/m}$.

4.3.2. Analisa Grafik

4.3.2.1. Grafik hubungan antara jumlah lubang piston cylinder dashpot dengan frekuensi pada $k = 1,22 \text{ kN/m}$.

Gambar 4.1 adalah grafik yang menggambarkan hubungan antara jumlah lubang piston cylinder dashpot dengan nilai frekuensi pada $k = 1,22 \text{ kN/m}$. Pada grafik tersebut terdapat 2 variasi massa yaitu 3,7 kg dan 4,7 kg dengan 3 variasi diameter yaitu 5 mm, 7 mm, 9 mm. Sehingga terdapat 6 kurva yaitu massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 5 mm; massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 7 mm; massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 9 mm; massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 5 mm; massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 7 mm; massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 9 mm.

Dari grafik dapat dijelaskan urutan nilai frekuensi masing – masing kurva dari yang besar sampai kecil yaitu kurva dengan massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 9 mm; massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 7 mm; massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 5 mm; massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 9 mm; massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 7 mm serta massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 5 mm.

Kurva dengan massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 9 mm mempunyai nilai frekuensi maksimal sebesar 2,74 Hz yaitu pada jumlah lubang 12 dan nilai minimal 2,6 Hz pada jumlah lubang 2. Kurva dengan massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 7 mm mempunyai nilai frekuensi maksimal sebesar 2,7 Hz yaitu pada jumlah lubang 12 dan nilai minimal 2,58 Hz pada jumlah lubang 2. Kurva dengan massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 5 mm mempunyai nilai frekuensi maksimal sebesar 2,66 Hz yaitu pada jumlah lubang 12 dan nilai minimal 2,57 Hz pada jumlah lubang 2.

Kurva dengan massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 9 mm mempunyai nilai frekuensi maksimal sebesar 2,44 Hz yaitu pada jumlah lubang 12 dan nilai minimal 2,29 Hz pada jumlah lubang 2. Kurva dengan massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 7 mm mempunyai nilai frekuensi maksimal sebesar 2,4 Hz yaitu pada jumlah lubang 12 dan nilai minimal 2,27 Hz pada jumlah lubang 2. Kurva dengan massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 5 mm mempunyai nilai frekuensi maksimal sebesar 2,4 Hz yaitu pada jumlah lubang 12 dan nilai minimal 2,25 Hz pada jumlah lubang 2.

4.3.2.2. Grafik hubungan antara jumlah lubang piston cylinder dashpot dengan frekuensi pada $k = 3,3 \text{ kN/m}$.

Gambar 4.2 adalah grafik yang menggambarkan hubungan antara jumlah lubang *piston cylinder dashpot* dengan nilai frekuensinya pada $k = 3,3 \text{ kN/m}$. Dari grafik tersebut dapat dijelaskan urutan nilai frekuensi masing – masing kurva dari yang besar sampai kecil yaitu kurva dengan massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 9 mm; massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 7 mm; massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 5 mm; massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 9 mm; massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 7 mm serta massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 5 mm.

Kurva dengan massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 9 mm mempunyai nilai frekuensi maksimal sebesar 4,75 Hz yaitu pada jumlah lubang 12 dan nilai minimal 4,56 Hz pada jumlah lubang 2. Kurva dengan massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 7 mm mempunyai nilai frekuensi maksimal sebesar 4,74 Hz yaitu pada jumlah lubang 12 dan nilai minimal 4,55 Hz pada jumlah lubang 2. Kurva dengan massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 5 mm mempunyai nilai frekuensi maksimal sebesar 4,71 Hz yaitu pada jumlah lubang 12 dan nilai minimal 4,5 Hz pada jumlah lubang 2.

Kurva dengan massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 9 mm mempunyai nilai frekuensi maksimal sebesar 4,45 Hz yaitu pada jumlah lubang 12 dan nilai minimal 4,15 Hz pada jumlah lubang 2. Kurva dengan massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 7 mm mempunyai nilai frekuensi maksimal sebesar 4,24 Hz yaitu pada jumlah lubang 12 dan nilai minimal 4,04 Hz pada jumlah lubang 2. Kurva dengan massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 5 mm mempunyai nilai frekuensi maksimal sebesar 4,22 Hz yaitu pada jumlah lubang 12 dan nilai minimal 4,04 Hz pada jumlah lubang 2.

4.3.2.3. Grafik hubungan antara jumlah lubang piston cylinder dashpot dengan damping ratio pada pegas dengan $k = 1,22 \text{ kN/m}$.

Gambar 4.3 adalah grafik yang menggambarkan hubungan antara jumlah lubang piston cylinder dashpot dengan nilai *damping ratio* pada $k = 1,22 \text{ kN/m}$. Pada grafik tersebut terdapat 2 variasi massa yaitu 3,7 kg dan 4,7 kg dengan 3 variasi diameter yaitu 5 mm, 7 mm, 9 mm. Sehingga terdapat 6 kurva yaitu massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 5 mm, massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 7 mm, massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 9 mm, massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 5 mm, massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 7 mm, massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 9 mm.

Dari grafik dapat dijelaskan urutan nilai *damping ratio* masing – masing kurva dari yang besar sampai kecil yaitu kurva dengan massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 5 mm; massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 5 mm; massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 7 mm; massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 9 mm; massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 7 mm serta massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 9 mm.

Kurva dengan massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 5 mm mempunyai nilai *damping ratio* maksimal sebesar 0,071030 yaitu pada jumlah lubang 2 dan nilai minimal 0,065366 pada jumlah lubang 12. Kurva dengan massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 7 mm mempunyai nilai *damping ratio* maksimal sebesar 0,065088 yaitu pada jumlah lubang 2 dan nilai minimal 0,045097 pada jumlah lubang 12. Kurva dengan massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 9 mm mempunyai nilai *damping ratio* maksimal sebesar 0,060469 yaitu pada jumlah lubang 2 dan nilai minimal 0,042563 pada jumlah lubang 12.

Kurva dengan massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 5 mm mempunyai nilai *damping ratio* maksimal sebesar 0,064498 yaitu pada jumlah lubang 2 dan nilai minimal 0,060827 pada jumlah lubang 12. Kurva dengan massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 7 mm mempunyai nilai *damping ratio* maksimal sebesar 0,057660 yaitu pada jumlah lubang 2 dan nilai minimal 0,041294 pada jumlah lubang 12. Kurva dengan massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 9 mm mempunyai nilai *damping ratio* maksimal sebesar 0,056751 yaitu pada jumlah lubang 2 dan nilai minimal 0,037939 pada jumlah lubang 12.

4.3.2.4. Grafik hubungan antara jumlah lubang piston cylinder dashpot dengan *damping ratio* pada pegas dengan $k = 3,3 \text{ kN/m}$.

Gambar 4.4 adalah grafik yang menggambarkan hubungan antara jumlah lubang piston cylinder dashpot dengan nilai *damping ratio* pada $k = 3,3 \text{ kN/m}$. Dari grafik dapat dijelaskan urutan nilai *damping ratio* masing – masing kurva dari yang besar sampai kecil yaitu kurva dengan massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 5 mm; massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 5 mm; massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 7 mm; massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 9 mm; massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 7 mm serta massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 9 mm.

Kurva dengan massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 5 mm mempunyai nilai *damping ratio* maksimal sebesar 0,048233 yaitu pada jumlah lubang 2 dan nilai minimal 0,042553 pada jumlah lubang 12. Kurva dengan massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 7 mm mempunyai nilai *damping ratio* maksimal sebesar 0,042099 yaitu pada jumlah lubang 2 dan nilai minimal 0,026978 pada jumlah lubang 12. Kurva dengan massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 9 mm mempunyai nilai *damping ratio* maksimal sebesar 0,041448 yaitu pada jumlah lubang 2 dan nilai minimal 0,025274 pada jumlah lubang 12.

Kurva dengan massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 5 mm mempunyai nilai *damping ratio* maksimal sebesar 0,040777 yaitu pada jumlah lubang 2 dan nilai minimal 0,037067 pada jumlah lubang 12. Kurva dengan massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 7 mm mempunyai nilai *damping ratio* maksimal sebesar 0,037871 yaitu pada jumlah lubang 2 dan nilai minimal 0,024745 pada jumlah lubang 12. Kurva dengan massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 9 mm mempunyai nilai *damping ratio* maksimal sebesar 0,037453 yaitu pada jumlah lubang 2 dan nilai minimal 0,021121 pada jumlah lubang 12.

4.3.2.5. Grafik hubungan antara jumlah lubang piston cylinder dashpot dengan konstanta peredaman pada pegas dengan $k = 1.22 \text{ kN/m}$.

Gambar 4.5 adalah grafik yang menggambarkan hubungan antara jumlah lubang piston cylinder dashpot dengan nilai konstanta peredaman pada $k = 1,22 \text{ kN/m}$. Pada grafik tersebut terdapat 2 variasi massa yaitu 3,7 kg dan 4,7 kg dengan 3 variasi diameter yaitu 5 mm, 7 mm, 9 mm. Sehingga terdapat 6 kurva yaitu massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 5 mm; massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 7 mm; massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 9 mm; massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 5 mm; massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 7 mm serta massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 9 mm.

Dari grafik dapat dijelaskan urutan nilai konstanta peredaman masing – masing kurva dari yang besar sampai kecil yaitu kurva dengan massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 5 mm; massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 5 mm, massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 7 mm; massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 9 mm; massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 7 mm serta massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 9 mm.



Kurva dengan massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 5 mm mempunyai nilai konstanta peredaman maksimal sebesar 9,544505 yaitu pada jumlah lubang 2 dan nilai minimal 8,783454 pada jumlah lubang 12. Kurva dengan massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 7 mm mempunyai nilai konstanta peredaman maksimal sebesar 8,746049 yaitu pada jumlah lubang 2 dan nilai minimal 6,059783 pada jumlah lubang 12. Kurva dengan massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 9 mm mempunyai konstanta peredaman maksimal sebesar 8,125342 yaitu pada jumlah lubang 2 dan nilai minimal 5,719261 pada jumlah lubang 12.

Kurva dengan massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 5 mm mempunyai konstanta peredaman maksimal sebesar 9,767987 yaitu pada jumlah lubang 2 dan nilai minimal 9,212008 pada jumlah lubang 12. Kurva dengan massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 7 mm mempunyai nilai konstanta peredaman maksimal sebesar 8,732469 yaitu pada jumlah lubang 2 dan nilai minimal 6,253763 pada jumlah lubang 12. Kurva dengan massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 9 mm mempunyai nilai konstanta peredaman maksimal sebesar 8,594737 yaitu pada jumlah lubang 2 dan nilai minimal 5,745701 pada jumlah lubang 12.

4.3.2.6. Grafik hubungan antara jumlah lubang piston cylinder dashpot dengan konstanta peredaman pada pegas dengan $k = 3,3 \text{ kN/m}$.

Gambar 4.6 adalah grafik yang menggambarkan hubungan antara jumlah lubang piston cylinder dashpot dengan nilai konstanta peredaman pada $k = 3,3 \text{ kN/m}$. Dari grafik dapat dijelaskan urutan nilai konstanta peredaman masing – masing kurva dari yang besar sampai kecil yaitu kurva dengan massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 5 mm; massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 7 mm; massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 9 mm; massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 5 mm; massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 7 mm serta massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 9 mm.

Kurva dengan massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 5 mm mempunyai nilai konstanta peredaman maksimal sebesar 10,659365 yaitu pada jumlah lubang 2 dan nilai minimal 9,404126 pada jumlah lubang 12. Kurva dengan massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 7 mm mempunyai nilai konstanta peredaman maksimal sebesar 9,303746 yaitu pada jumlah lubang 2 dan nilai minimal 5,962111 pada jumlah lubang 12. Kurva dengan massa 3,7 kg dengan diameter lubang piston 9 mm mempunyai

konstanta peredaman maksimal sebesar 9,159987 yaitu pada jumlah lubang 2 dan nilai minimal 5,585398 pada jumlah lubang 12.

Kurva dengan massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 5 mm mempunyai konstanta peredaman maksimal sebesar 10,156705 yaitu pada jumlah lubang 2 dan nilai minimal 9,232682 pada jumlah lubang 12. Kurva dengan massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 7 mm mempunyai nilai konstanta peredaman maksimal sebesar 9,432858 yaitu pada jumlah lubang 2 dan nilai minimal 6,163332 pada jumlah lubang 12. Kurva dengan massa 4,7 kg dengan diameter lubang piston 9 mm mempunyai nilai konstanta peredaman maksimal sebesar 9,328851 yaitu pada jumlah lubang 2 dan nilai minimal 5,260797 pada jumlah lubang 12.

4.3.3. Pembahasan Grafik

Secara garis besar dapat disimpulkan nilai frekuensi semakin meningkat seiring meningkatnya jumlah lubang piston dan dengan bertambahnya diameter lubang piston tersebut juga akan meningkatkan nilai frekuensi.

Nilai *damping ratio* semakin menurun seiring meningkatnya jumlah lubang piston dan bertambahnya diameter lubang piston tersebut juga menyebabkan nilai *damping ratio* menurun.

Nilai konstanta peredaman semakin menurun seiring meningkatnya jumlah lubang piston dan bertambahnya diameter lubang piston tersebut juga menyebabkan nilai konstanta peredaman menurun.

Hal ini karena dengan semakin banyak jumlah lubang piston dan bertambah besar diameter lubang piston akan menyebabkan hambatan akibat gesekan dengan fluida semakin kecil. Hambatan semakin kecil karena jumlah fluida yang mengalir pada kelonggaran dinding piston dan dinding silinder akan semakin kecil akibat aliran fluida terbagi melalui lubang piston. Semakin banyak lubang piston dan semakin besar diameter lubang piston menyebabkan aliran fluida peredam yang melewati kelonggaran dinding piston dan dinding silinder akan semakin kecil. Dengan semakin kecilnya aliran fluida peredam yang melewati kelonggaran dinding piston dan dinding silinder maka hambatannya semakin kecil.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari data penelitian yang diperoleh dapat disimpulkan adanya pengaruh jumlah lubang dan diameter lubang pada *piston cylinder dashpot* sebagai berikut:

- Semakin banyak jumlah lubang dan semakin besar diameter lubang pada *piston cylinder dashpot* dihasilkan nilai frekuensi yang semakin besar pula dibandingkan kondisi tanpa lubang (standar).
- Semakin banyak jumlah lubang dan semakin besar diameter lubang pada *piston cylinder dashpot* dihasilkan nilai damping ratio yang semakin kecil dibandingkan kondisi tanpa lubang (standar).
- Semakin banyak jumlah lubang dan semakin besar diameter lubang pada *piston cylinder dashpot* dihasilkan nilai konstanta peredaman yang semakin kecil dibandingkan kondisi tanpa lubang (standar).

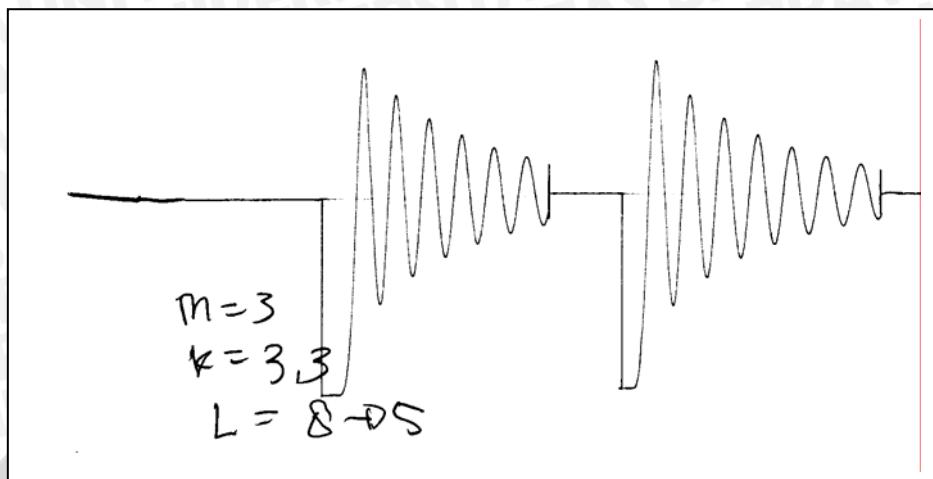
5.2. Saran

Saran yang dapat penulis sampaikan berhubungan dengan penelitian tentang pengaruh jumlah lubang penampang pada *piston cylinder viscous damper* terhadap konstanta peredaman dan respon pada sistem getaran bebas teredam satu derajat kebebasan ini adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang variasi penampang pada *piston cylinder dashpot* tentang pengaruh jarak bagi lubang pada *piston cylinder viscous damper* terhadap konstanta peredaman, damping ratio dan frekuensinya.
2. Bisa dilakukan penelitian secara simulasi program komputer untuk menentukan pengaruh jumlah lubang penampang pada *piston cylinder dashpot viscous damper* terhadap konstanta peredaman dan respon pada sistem getaran bebas teredam satu derajat kebebasan.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada sistem getaran paksa teredam satu atau dua derajat kebebasan.

DAFTAR PUSTAKA

- Black, Paul H. dan Adams, Eugene O. 1968. *Machine Design*, Cetakan III, Kogakusha: McGraw-Hill.
- Diamaragonas, Dimas. 1996. *Vibration for Engineers*, Cetakan II, New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- <http://id.wikipedia.org/wiki/Getaran>
- Meirovitch, Leonard. 2001. *Fundamentals of Vibrations*, New York: McGraw-Hill.
- Rao, Singiresu. 2004. *Mechanical Vibrations*, Cetakan IV, New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- Wallentowictz, Henning. 2005. *Shock Absorber Measurement*, Aachen: Institut Fur Kraftfahrwesen Aachen.
- Kriswidiantoro, Eka. 2006. *Pengaruh Jumlah Lubang Plat Perforasi Terhadap Getaran Pada Instalasi Pipa Lurus Akibat Aliran Udara*, Malang: Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, 2006.

Lampiran 1. Contoh gambar respon getaran hasil penelitian

Gambar respon getaran hasil penelitian



Lampiran 2. Data Hasil Penelitian dan Perhitungan

Nilai panjang gelombang, amplitude, frekuensi, damping ratio dan konstanta peredaman.

1. Data penelitian tanpa piston pada $k = 1,22 \text{ kN/m}$, $m = 3,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	7,25	26,5	24,5	22,5	20,5	19	2,8571	0,013243	1,779563
2	7,5	23	21,5	19,5	18	16,5	2,6667	0,013221	1,776504
3	7,75	22,5	20,5	19	17	16	2,8571	0,013571	1,823526
4	8	21,5	19,5	18	16,5	15	2,6667	0,014330	1,925539
5	7,5	18	16	14,5	13	12	2,6667	0,016139	2,168643
6	7,5	22,5	20,5	18,5	17,5	15	2,6667	0,016139	2,168643
7	7,5	22	20,5	18,5	17,5	15,5	2,6667	0,013940	1,873131
8	8	20	18	17	15	14	2,6667	0,014197	1,907743
9	8	24	22	20	18,5	17	2,6667	0,013726	1,844457
10	7,5	20,5	18,5	17	15,5	14	2,6667	0,015180	2,039787

2. Data penelitian tanpa piston pada $k = 1,22 \text{ kN/m}$, $m = 4,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	9	23	20,5	18,5	17	15,5	2,4242	0,015709	2,379043
2	9	23	20,5	18,5	17	16	2,3529	0,014445	2,187698
3	8,5	20	18	16,5	15	14	2,3529	0,014197	2,150146
4	8,5	22	19,5	18	16,5	15	2,3529	0,015245	2,308760
5	9	19,5	17,5	16	14,5	13	2,5000	0,016139	2,444197
6	9	22,5	20,5	18,5	16,5	15,5	2,5000	0,014834	2,246581
7	9	21	19	17,5	16	14,5	2,5000	0,014743	2,232710
8	8,5	20,5	18,5	17	15,5	14	2,4242	0,015180	2,298968
9	8,5	22,5	20,5	18,5	17	15,5	2,4242	0,014834	2,246581
10	9	21	19,5	17,5	16	14,5	2,5000	0,014743	2,232710

3. Data penelitian tanpa piston pada $k = 3,3 \text{ kN/m}$, $m = 3,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	4,5	15	14	13,5	13	12,75	4,4444	0,006470	1,429760
2	4,5	15	14,5	14	14	13,5	4,4444	0,004194	0,926920
3	4,5	17,5	16,5	16	15,5	15	4,4444	0,006136	1,356143
4	4,5	12,25	12	12	11,5	11	5,0000	0,004285	0,946892
5	4,5	12,25	11,75	11,5	11,25	10,75	5,0000	0,005200	1,149139
6	4,5	15	14,5	14	14	13,5	5,0000	0,004194	0,926920
7	4,5	12	11,5	11	10,5	10,5	5,0000	0,005316	1,174750
8	4,5	11,5	11	10,5	10,5	10	5,0000	0,005564	1,229562
9	4,5	10,25	10	9,5	9,25	9	5,0000	0,005177	1,144151
10	4,5	18,5	18	17,5	16,5	16	5,0000	0,005779	1,277244

4. Data penelitian tanpa piston pada $k = 3,3 \text{ kN/m}$, $m = 4,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	5	12,5	12	11,5	11	11	4,4444	0,005089	1,267520
2	5	18,5	18	17,5	17	16,5	5,0000	0,004555	1,134428
3	5	17,5	16,5	16	15,5	15	4,4444	0,006136	1,528458
4	5	20	19,5	19	18,5	18	4,4444	0,004194	1,044697
5	5	18	17,5	17	16,5	16	4,4444	0,004689	1,167869
6	5	17	16,5	16	15,5	15,5	4,2105	0,003677	0,915925
7	5	21,5	21	20	19,5	19	4,0000	0,004921	1,225684
8	5	15,5	15	14,5	14	13,75	4,0000	0,004769	1,187880
9	5	22,5	22	21,5	20,5	20	4,0000	0,004689	1,167869
10	5	17	16,5	16	15,5	15,5	4,0000	0,003677	0,915925

5. Data penelitian piston standart pada $k = 1,22 \text{ kN/m}$, $m = 3,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	7,5	13,5	8	5	3,5	2	2,6667	0,075798	10,185193
2	7,5	14	8	5	3,5	2,5	2,6667	0,068421	9,193876
3	7,5	13	7	5	3	2	2,6667	0,074308	9,985015
4	7,5	14	8	5	3,5	2,5	2,5806	0,068421	9,193876
5	7,5	14	8,5	5,5	3,5	2,25	2,5000	0,072584	9,753275
6	7,5	14	8	5	3,5	2,5	2,5000	0,068421	9,193876
7	7,5	14	8,5	5,5	3,5	2	2,5000	0,077233	10,378026
8	7,5	14	8	5	3,5	2	2,5000	0,077233	10,378026
9	7,5	14	8	5	3,5	2	2,5000	0,077233	10,378026
10	7,5	14	8	5	3,5	2,5	2,5000	0,068421	9,193876



6. Data penelitian piston pada standart pada $k = 1,22 \text{ kN/m}$, $m = 4,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	8	15	8,5	6,5	4,5	3	2,2222	0,063939	9,683311
2	9	15	9	6	4,5	3	2,2222	0,063939	9,683311
3	8	14	8,5	6,5	4,5	3	2,3529	0,061208	9,269800
4	8	15	9	6	4	3	2,3529	0,063939	9,683311
5	8,5	15	9	6,5	4,5	3	2,2222	0,063939	9,683311
6	9	15	8,5	6,5	4,5	3	2,2222	0,063939	9,683311
7	8,5	15	8	5,5	4	2,5	2,2222	0,071147	10,774992
8	8	15	8,5	6	4	2,5	2,2222	0,071147	10,774992
9	8,5	15	8,5	6	4	3	2,2222	0,063939	9,683311
10	8,5	15,5	8,5	6	4,5	3	2,2222	0,065236	9,879762

7. Data penelitian piston standart pada $k = 3,3 \text{ kN/m}$, $m = 3,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	4	8,5	5	3,5	3	2,5	4,4444	0,048659	10,753632
2	4	9	5,5	4	3,5	3	4,4444	0,043693	9,656010
3	4	5	4	3,25	3	2,5	4,4444	0,027583	6,095767
4	4	7	4,5	3	2,5	2,25	4,4444	0,045136	9,975014
5	4	8	5	3,5	3	2,5	4,4444	0,046254	10,222077
6	4	7	4,5	3	2,5	2,25	4,4444	0,045136	9,975014
7	4	7	4,5	3	2,5	2	4,4444	0,049809	11,007728
8	4	7,5	4,5	3	2,5	2,25	4,4444	0,047874	10,580023
9	4	10	6	4	3,5	3	4,4444	0,047874	10,580023
10	4	8	5	3,5	3	2,5	4,7059	0,046254	10,222077

8. Data penelitian piston pada standart pada $k = 3,3 \text{ kN/m}$, $m = 4,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	4,5	12,5	8	5,5	4,5	4	3,8095	0,045313	11,286498
2	4,5	11	7,5	5	4	3,5	3,8095	0,045539	11,342822
3	4,5	9,5	6,5	4,5	4	3,5	4,2105	0,039719	9,893137
4	4,5	10	6,5	4,5	4	3,5	4,0000	0,041756	10,400472
5	4,5	13	8	5,5	4,5	4	4,0000	0,046869	11,674154
6	4,5	7,5	5,5	4,5	4	3	4,0000	0,036452	9,079477
7	4,5	8,5	5,5	4,5	4	3	4,0000	0,041424	10,317711
8	4,5	8,5	5,5	4,5	4	3	4,0000	0,041424	10,317711
9	4,5	7,5	5,5	4,5	4	3	4,0000	0,036452	9,079477
10	4,5	8	5,5	4,5	4	3	4,0000	0,039016	9,718044

9. Data penelitian dengan jumlah lubang 2, $d = 5 \text{ mm}$ pada $k = 1,22 \text{ kN/m}$, $m = 3,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	7	18	11	7	4,5	3	2,5806	0,071147	9,560242
2	7,5	19	11,5	7	4,5	3	2,5000	0,073283	9,847200
3	8	19	11,5	7	4,5	3	2,5000	0,073283	9,847200
4	7,5	19	11,5	7,5	5	3	2,5000	0,073283	9,847200
5	7	19	11,5	7	4,5	3	2,6667	0,073283	9,847200
6	7,5	18	11	7	4,5	3	2,6667	0,071147	9,560242
7	8	20	12	7,5	5	3,5	2,5000	0,069219	9,301178
8	7,5	19,5	12	7,5	5	3,5	2,5000	0,068219	9,166705
9	7,5	20	12	7,5	5	3,5	2,6667	0,069219	9,301178
10	7,5	19,5	11,5	7,5	5	3,5	2,6667	0,068219	9,166705

10. Data penelitian dengan jumlah lubang 2, $d = 5 \text{ mm}$ pada $k = 1,22 \text{ kN/m}$, $m = 4,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	8,5	20	13	8	5,5	3,5	2,3529	0,069219	10,483011
2	9	20,5	13	8,5	6	4	2,2222	0,064916	9,831255
3	8,5	13,5	8,5	5	4	2,5	2,3529	0,066983	10,144323
4	8,5	20,5	13	8,5	6,5	4	2,3529	0,064916	9,831255
5	9	20	13	8,5	5,5	4	2,2222	0,063939	9,683311
6	9,5	20,5	13	8,5	6	4	2,1053	0,064916	9,831255
7	9	20	12,5	8,5	6	4	2,2222	0,063939	9,683311
8	8,5	20	13	8,5	6	4	2,3529	0,063939	9,683311
9	9	19,5	12,5	8,5	6	4	2,2222	0,062937	9,531592
10	9,5	20	13	8,5	6	4,5	2,1053	0,059277	8,977248

11. Data penelitian dengan jumlah lubang 2, $d = 5 \text{ mm}$ pada $k = 3,3 \text{ kN/m}$, $m = 4,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	4,5	17	12	8,5	6	5	4,4444	0,048659	10,753632
2	4,5	13	9,5	7	5,5	4,5	4,4444	0,042195	9,324901
3	4,5	16	11,5	8,5	6	5	4,4444	0,046254	10,222077
4	4	17,5	12,5	9,5	7	5,5	5,0000	0,046028	10,172108
5	4,5	16,5	12	8,5	7	5,5	4,4444	0,043693	9,656010
6	4,5	15,5	11	8	6	5	4,4444	0,044994	9,943634
7	4,5	15	10,5	8	6	5	4,4444	0,043693	9,656010
8	4,5	12	9	6,5	5	4,5	4,4444	0,039016	8,622452
9	4,5	15	10,5	7,5	6	5	4,4444	0,043693	9,656010
10	4,5	18,5	13	10	7	5,5	4,4444	0,048233	10,659365

12. Data penelitian dengan jumlah lubang 2, $d = 5 \text{ mm}$ pada $k = 3,3 \text{ kN/m}$, $m = 4,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	4,5	19	13,5	10	7,5	6,5	4,4444	0,042662	10,626087
2	4,5	14	10,5	8	6,5	5	4,0000	0,040954	10,200665
3	5	15	11	8,5	6,5	5,25	4,0000	0,041756	10,400472
4	5	16	11,5	8,5	7	5,5	4,0000	0,042471	10,578660
5	5	14	10,5	8	6,5	5	4,0000	0,040954	10,200665
6	5	16,5	12,5	9,5	7,5	6	4,0000	0,040238	10,022443
7	5	17	12,5	9,5	7,5	6	4,0000	0,041424	10,317711
8	5	13,5	10	8	6,5	5,5	4,0000	0,035723	8,897891
9	5	19,5	14	10,5	8	6,75	4,0000	0,042195	10,509747
10	5	17,5	13	10	8	6,5	4,0000	0,039396	9,812712

13. Data penelitian dengan jumlah lubang 4, $d = 5 \text{ mm}$ pada $k = 1,22 \text{ kN/m}$, $m = 3,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	8	18,5	11	7	4,5	3,5	2,5000	0,066137	8,887006
2	8	18,5	11	7	4,5	3,5	2,5806	0,066137	8,887006
3	7,5	18,5	11	7	4,5	3	2,5000	0,072230	9,705677
4	7,5	18,5	11	7	4,5	3	2,6667	0,072230	9,705677
5	8	18	11	7	4,5	3	2,5000	0,071147	9,560242
6	8	18,5	11	7	4,5	3	2,5000	0,072230	9,705677
7	7,5	18	11	7	4,5	3	2,6667	0,071147	9,560242
8	7,5	18	10,5	7	4,5	3	2,6667	0,071147	9,560242
9	8	18	10,5	6,5	4,5	3	2,6667	0,071147	9,560242
10	8	17,5	10,5	6,5	4,5	3	2,6667	0,070034	9,410674

14. Data penelitian dengan jumlah lubang 4, $d = 5 \text{ mm}$ pada $k = 1,22 \text{ kN/m}$, $m = 4,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	8	19,5	12,5	8,5	5,5	4	2,2222	0,062937	9,531592
2	8,5	19,5	12,5	8	5,5	4	2,2222	0,062937	9,531592
3	9	19,5	12	8,5	5,5	4	2,2222	0,062937	9,531592
4	8,5	18,5	12	8	5,5	4	2,3529	0,060853	9,216030
5	8	18,5	12	8	5,5	4	2,2222	0,060853	9,216030
6	8,5	19,5	13	8,5	5	4	2,3529	0,062937	9,531592
7	9	19,5	12,5	8,5	5,5	3,5	2,2222	0,068219	10,331452
8	8,5	19	12,5	8	5,5	3,5	2,3529	0,067192	10,175923
9	8	18	13	8,5	5,5	3,5	2,3529	0,065053	9,852092
10	8,5	19	12	8,5	5,5	3,5	2,3529	0,067192	10,175923



15. Data penelitian dengan jumlah lubang 4, $d = 5 \text{ mm}$ pada $k = 3,3 \text{ kN/m}$, $m = 3,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	4,5	16	11	8	6,5	5	4,4444	0,046254	10,222077
2	4,5	17	12,5	9	7,5	6	4,4444	0,041424	9,154514
3	4,5	16	11,5	8,5	6,5	5	4,4444	0,046254	10,222077
4	4,5	13	9,5	7	5,5	4,5	4,4444	0,042195	9,324901
5	4,5	15	10,5	7,5	6	5	4,4444	0,043693	9,656010
6	4	17	12	8,5	7	5,5	4,7059	0,044878	9,917874
7	4,5	17	12	8,5	7	5,5	4,4444	0,044878	9,917874
8	4,5	15	11	8	6,5	5	4,4444	0,043693	9,656010
9	4	16,5	12	9	7	5,5	5,0000	0,043693	9,656010
10	4,5	17	12	9	7	5,5	4,4444	0,044878	9,917874

16. Data penelitian dengan jumlah lubang 4, $d = 5 \text{ mm}$ pada $k = 3,3 \text{ kN/m}$, $m = 4,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	5	18,5	14	10	8	7	4,0000	0,038660	9,629316
2	5	17,5	12,5	9,5	7,5	6,5	4,0000	0,039396	9,812712
3	4,5	19	14	10,5	8	6,5	4,0000	0,042662	10,626087
4	4,5	19,5	14,5	10,5	8	7	4,4444	0,040751	10,150073
5	5	18,5	13	10	7,5	6,5	4,0000	0,041603	10,362361
6	5	18	13,5	10	7,5	6,5	4,0000	0,040515	10,091372
7	5	15	11	8,5	6,5	5,5	4,0000	0,039909	9,940354
8	5	16	12	9	7	6	4,0000	0,039016	9,718044
9	4,5	17	12,5	9,5	7,5	6,5	4,4444	0,038245	9,525934
10	5	16,5	12	9	7	6	4,0000	0,040238	10,022443

17. Data penelitian dengan jumlah lubang 6, $d = 5 \text{ mm}$ pada $k = 1,22 \text{ kN/m}$, $m = 3,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	7,5	19	11,5	7,5	5	3,5	2,5000	0,067192	9,028711
2	7,5	19,5	11,5	7,5	5	3,5	2,5000	0,068219	9,166705
3	7,5	19,5	12	7,5	5	3,5	2,5806	0,068219	9,166705
4	7,5	19	11	7,5	5	3,5	2,5000	0,067192	9,028711
5	7,5	18,5	11,5	7	5	3	2,6667	0,072230	9,705677
6	7,5	19	11,5	7,5	5	3	2,6667	0,073283	9,847200
7	7,5	19	11,5	7,5	5	3	2,6667	0,073283	9,847200
8	7,5	19	11,5	7,5	5	3	2,6667	0,073283	9,847200
9	7,5	18	11,5	7	5	3	2,6667	0,071147	9,560242
10	7,5	19,5	12	7,5	5	3,5	2,6667	0,068219	9,166705

18. Data penelitian dengan jumlah lubang 6, $d = 5 \text{ mm}$ pada $k = 1,22 \text{ kN/m}$, $m = 4,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	8,5	20	13	8,5	5,5	4	2,2222	0,063939	9,683311
2	8	20	13	8,5	6	4	2,2222	0,063939	9,683311
3	8,5	20	13	8,5	6	4	2,2222	0,063939	9,683311
4	8,5	20	13	8,5	6	4	2,3529	0,063939	9,683311
5	8,5	19	12,5	8	5,5	4	2,3529	0,061909	9,375903
6	8,5	19,5	12,5	8,5	6	4	2,3529	0,062937	9,531592
7	8,5	19,5	12,5	8,5	6	4	2,3529	0,062937	9,531592
8	8,5	20	13	8,5	6	4	2,3529	0,063939	9,683311
9	8,5	20	13	8,5	6	4	2,3529	0,063939	9,683311
10	8,5	20	12,5	8,5	6	4	2,3529	0,063939	9,683311

19. Data penelitian dengan jumlah lubang 6, $d = 5 \text{ mm}$ pada $k = 3,3 \text{ kN/m}$, $m = 3,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	4,5	17	12	9	7	5,5	5,0000	0,044878	9,917874
2	4,5	17	12	9	7	5,5	4,7059	0,044878	9,917874
3	4,5	15,5	11,5	8,5	7	5,5	4,4444	0,041211	9,107462
4	4,5	15,5	11	8,5	6,5	5	4,4444	0,044994	9,943634
5	4,5	14	10	8	6	5	4,4444	0,040954	9,050663
6	4,5	15	10,5	8,5	6	5	4,4444	0,043693	9,656010
7	4,5	17	12	9	7	5,5	4,4444	0,044878	9,917874
8	4,5	17	12,5	9	7	5,5	4,4444	0,044878	9,917874
9	4,5	15,5	11,5	8,5	7	5,5	4,4444	0,041211	9,107462
10	4,5	17	12	9	7	5,5	5,0000	0,044878	9,917874

20. Data penelitian dengan jumlah lubang 6, $d = 5 \text{ mm}$ pada $k = 3,3 \text{ kN/m}$, $m = 4,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	4,5	18	13,5	10,5	8	7	4,0000	0,037571	9,358232
2	5	17	12,5	9,5	7,5	6,5	4,0000	0,038245	9,525934
3	5	18,5	13,5	10,5	8	6,5	4,0000	0,041603	10,362361
4	4,5	19	14	10,5	8	7	4,0000	0,039719	9,893137
5	4,5	14,5	11	8,5	6,5	6	4,0000	0,035105	8,743970
6	4,5	20	14,5	11	8,5	7	4,4444	0,041756	10,400472
7	4,5	18,5	14	10,5	8	6,75	4,4444	0,040104	9,989082
8	5	18,5	13,5	10,5	8	6,5	4,0000	0,041603	10,362361
9	4,5	17,5	13	10	8	6,5	4,0000	0,039396	9,812712
10	4,5	19,5	14	10,5	8,5	7	4,4444	0,040751	10,150073

21. Data penelitian dengan jumlah lubang 8, $d = 5 \text{ mm}$ pada $k = 1,22 \text{ kN/m}$, $m = 3,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	7,5	19	12	8	5	3,5	2,5000	0,067192	9,028711
2	7,5	19	12	7,5	5	3,5	2,5806	0,067192	9,028711
3	7,5	19	12	8	5	3,5	2,5000	0,067192	9,028711
4	7,5	19,5	12	8	5,5	3,5	2,6667	0,068219	9,166705
5	7,5	19	12	8	5	3,5	2,6667	0,067192	9,028711
6	7,5	18,5	11,5	7,5	5	3,5	2,6667	0,066137	8,887006
7	7,5	19	12	7,5	5	3,5	2,6667	0,067192	9,028711
8	7,5	19,5	12	8	5	3,5	2,6667	0,068219	9,166705
9	7,5	19	12	8	5	3,5	2,6667	0,067192	9,028711
10	7,5	18,5	11,5	7,5	5	3,5	2,6667	0,066137	8,887006

22. Data penelitian dengan jumlah lubang 8, $d = 5 \text{ mm}$ pada $k = 1,22 \text{ kN/m}$, $m = 4,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	9	20	13,5	9	6,5	4	2,3529	0,063939	9,683311
2	8,75	20	13	9	6	4,5	2,3529	0,059277	8,977248
3	8,5	20	13	9	6,5	4	2,3529	0,063939	9,683311
4	8,5	19,5	13	9	6,5	4	2,3529	0,062937	9,531592
5	9	20	13,5	9,5	6,5	4,5	2,2222	0,059277	8,977248
6	9	20	13,5	9	6,5	4,5	2,2222	0,059277	8,977248
7	8,5	18,5	12,5	8,5	6	4	2,3529	0,060853	9,216030
8	8,5	20	13,5	9	6,5	4,5	2,3529	0,059277	8,977248
9	9	20	13	9	6	4	2,3529	0,063939	9,683311
10	9	20	13	9	6	4	2,3529	0,063939	9,683311

23. Data penelitian dengan jumlah lubang 8, $d = 5 \text{ mm}$ pada $k = 3,3 \text{ kN/m}$, $m = 3,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	4	16	11,5	9	7	6	4,4444	0,039016	8,622452
2	4,5	19	13,5	10	8	6,5	4,4444	0,042662	9,428125
3	4,5	18	13	9,5	7,5	5,5	4,4444	0,047146	10,419140
4	4	17,5	12,5	9,5	7	5,5	5,0000	0,046028	10,172108
5	4	18	13	10	8	6,5	5,0000	0,040515	8,953692
6	4,5	18,5	13	9,5	7,5	6	4,4444	0,044780	9,896350
7	4	16,5	12	9	7	5,5	5,0000	0,043693	9,656010
8	4	16,5	12	9	7	5,5	4,4444	0,043693	9,656010
9	4,5	16	12	9	7	5,5	4,4444	0,042471	9,386044
10	4,5	17,5	13	10	7	6	4,4444	0,042574	9,408863



24. Data penelitian dengan jumlah lubang 8, $d = 5$ mm pada $k = 3,3$ kN/m, $m = 4,7$ kg.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	4,5	18,5	15	11,5	9	7,5	4,4444	0,035919	8,946642
2	4,5	19	14	11	8,5	7	4,0000	0,039719	9,893137
3	5	19	14	11	8,5	7	4,0000	0,039719	9,893137
4	5	18	13,5	10	8	6,5	4,0000	0,040515	10,091372
5	5	18,5	13,5	10,5	8	6,5	4,0000	0,041603	10,362361
6	5	18,5	14	10,5	8	6,5	4,0000	0,041603	10,362361
7	5	18	14	10,5	8,5	7	4,0000	0,037571	9,358232
8	5	19,5	14,5	11	8,5	7,25	4,4444	0,039357	9,802961
9	5	18	13,5	10,5	8,5	7,5	4,4444	0,034830	8,675476
10	5	19	14,5	11	8,5	7,25	4,4444	0,038325	9,545982

25. Data penelitian dengan jumlah lubang 10, $d = 5$ mm pada $k = 1,22$ kN/m, $m = 3,7$ kg.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	8	19,5	12,5	8	5,5	4	2,6667	0,062937	8,457021
2	7,5	19,5	12	8	5,5	4	2,6667	0,062937	8,457021
3	7,5	20	12,5	8	5,5	3,5	2,6667	0,069219	9,301178
4	7,5	19,5	12	8	5	3,5	2,6667	0,068219	9,166705
5	7,5	19	12	8	5	3,5	2,6667	0,067192	9,028711
6	8	19,5	12,5	8	5,5	4	2,5000	0,062937	8,457021
7	7,5	19	12	8	5	3,5	2,6667	0,067192	9,028711
8	7,5	19	12	8	5	3,75	2,6667	0,064463	8,662049
9	8	19	12	8	5,5	3,5	2,5806	0,067192	9,028711
10	8	19	12	8	5	3,5	2,6667	0,067192	9,028711

26. Data penelitian dengan jumlah lubang 10, $d = 5$ mm pada $k = 1,22$ kN/m, $m = 4,7$ kg.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	8	20	13	8,5	5,5	4,5	2,3529	0,059277	8,977248
2	8,5	20	13	8,5	6	4,5	2,3529	0,059277	8,977248
3	9	21	13	8	5,5	4	2,2222	0,065869	9,975606
4	8,5	21	13,5	8,5	6	4,5	2,3529	0,061208	9,269800
5	8	20,5	13	8	6	4,5	2,5000	0,060254	9,125321
6	8,5	20,5	13	9	6	4,5	2,3529	0,060254	9,125321
7	9	20	13	8,5	6	4	2,2222	0,063939	9,683311
8	8,5	21	13,5	9	6	4,5	2,3529	0,061208	9,269800
9	8	20,5	13	8,5	6	4,5	2,5000	0,060254	9,125321
10	8,5	20,5	13	8	5,5	4,5	2,3529	0,060254	9,125321

27. Data penelitian dengan jumlah lubang 10, $d = 5 \text{ mm}$ pada $k = 3,3 \text{ kN/m}$, $m = 3,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	4,5	17	13	9,5	7,5	6	4,4444	0,041424	9,154514
2	4	17	13	9,5	7,5	6	4,4444	0,041424	9,154514
3	4	18	13,5	9,5	7,5	6	5,0000	0,043693	9,656010
4	4	16,5	13	9,5	7,5	5,5	5,0000	0,043693	9,656010
5	4	16,5	12,5	9	7	5,5	5,0000	0,043693	9,656010
6	4,5	17,5	13	9,5	7	5,5	4,4444	0,046028	10,172108
7	4,5	15	12	9	7	5,5	4,4444	0,039909	8,819700
8	4,5	17,5	13	9	7	5,5	4,4444	0,046028	10,172108
9	4,5	17,5	13	9,5	7,5	6	5,0000	0,042574	9,408863
10	4,5	16,5	13	9,5	7	5,5	4,4444	0,043693	9,656010

28. Data penelitian dengan jumlah lubang 10, $d = 5 \text{ mm}$ pada $k = 3,3 \text{ kN/m}$, $m = 4,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	5	17	13	10	8	6,75	4,4444	0,036746	9,152508
2	5	19	14,5	11	9	7,5	4,4444	0,036979	9,210545
3	5	18,5	13,5	10,5	8	7	4,4444	0,038660	9,629316
4	5	18	13,5	10,5	8,5	7	4,4444	0,037571	9,358232
5	5	19,5	14,5	11	9	7,5	4,2105	0,038010	9,467563
6	5	19,5	14	10,5	8,5	7	4,0000	0,040751	10,150073
7	5	19	14,5	11	9	7,5	4,0000	0,036979	9,210545
8	5	18,5	13,5	10,5	8,5	7,25	4,0000	0,037266	9,282119
9	5	18	13,5	10,5	8,5	7,25	4,0000	0,036177	9,010993
10	5	19	14,5	11	8,5	7,25	4,0000	0,038325	9,545982

29. Data penelitian dengan jumlah lubang 12, $d = 5 \text{ mm}$ pada $k = 1,22 \text{ kN/m}$, $m = 3,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	7,5	18,5	11	7	4,5	3	2,6667	0,072230	9,705677
2	8	19	11,5	7	4,5	3,5	2,6667	0,067192	9,028711
3	7,5	19	11,5	7	4,5	3,5	2,5806	0,067192	9,028711
4	8	19	11,5	7	4,5	3,5	2,6667	0,067192	9,028711
5	8	18	11	7	4,5	3,5	2,6667	0,065053	8,741388
6	8	18,5	11	7	4,5	3,5	2,6667	0,066137	8,887006
7	7,5	18	11,5	7	4,5	3,5	2,6667	0,065053	8,741388
8	7,5	18,5	11,5	7	5	4	2,6667	0,060853	8,177034
9	7,5	18,5	11,5	7	5	4	2,6667	0,060853	8,177034
10	7,5	19	11,5	7	5	4	2,6667	0,061909	8,318883

30. Data penelitian dengan jumlah lubang 12, $d = 5 \text{ mm}$ pada $k = 1,22 \text{ kN/m}$, $m = 4,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	8	20,5	13	8,5	5,5	4,5	2,3529	0,060254	9,125321
2	8,5	20,5	13	8,5	6	4,5	2,3529	0,060254	9,125321
3	8,5	20,5	13	8,5	6	4,5	2,3529	0,060254	9,125321
4	8	21	13,5	9	6	4,5	2,5000	0,061208	9,269800
5	8	21	13,5	9	6	4,5	2,5000	0,061208	9,269800
6	8,5	21	13,5	9	6	4,5	2,3529	0,061208	9,269800
7	8,5	21	13,5	9	6	4,5	2,3529	0,061208	9,269800
8	8	20,5	13	8,5	6	4,5	2,5000	0,060254	9,125321
9	8	21	13,5	9	6	4,5	2,3529	0,061208	9,269800
10	8,5	21	13,5	9	6	4,5	2,3529	0,061208	9,269800

31. Data penelitian dengan jumlah lubang 12, $d = 5 \text{ mm}$ pada $k = 3,3 \text{ kN/m}$, $m = 3,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	4,25	14,5	11	8,5	7	5,5	4,7059	0,038562	8,522133
2	4	17,5	13	10	7,5	6	4,4444	0,042574	9,408863
3	4	17,5	12,5	9	7	5,5	4,7059	0,046028	10,172108
4	4,25	15,5	11,5	8,5	6,5	5	4,7059	0,044994	9,943634
5	4	17	12,5	9	7	6	5,0000	0,041424	9,154514
6	4,5	16,5	12	9	7	5,75	4,4444	0,041928	9,266012
7	4,25	16,5	11,5	8,5	7	5,5	4,7059	0,043693	9,656010
8	4,25	17	12,5	9,5	7,5	6	4,7059	0,041424	9,154514
9	4	15,5	11,5	8,5	7	5,5	4,7059	0,041211	9,107462
10	4	15	11	8,5	6,5	5	5,0000	0,043693	9,656010

32. Data penelitian dengan jumlah lubang 12, $d = 5 \text{ mm}$ pada $k = 3,3 \text{ kN/m}$, $m = 4,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	5	17	13,5	10,5	8	6,75	4,0000	0,036746	9,152508
2	5	19	14	11	8,5	7,25	4,0000	0,038325	9,545982
3	4,5	17,5	13,5	11	8,5	7	4,0000	0,036452	9,079477
4	4,5	18,5	13,5	10,5	8,5	7,5	4,4444	0,035919	8,946642
5	4,5	17,5	13,5	11	8,5	7	4,4444	0,036452	9,079477
6	5	19,5	14	11	9	7,5	4,4444	0,038010	9,467563
7	5	18,5	14	11	8,5	7	4,4444	0,038660	9,629316
8	5	18	13,5	10,5	8	7	4,4444	0,037571	9,358232
9	4,5	19	14	11	8,5	7,5	4,0000	0,036979	9,210545
10	4,5	16,5	13	10	8	6,75	4,0000	0,035559	8,857080

33. Data penelitian dengan jumlah lubang 2, $d = 7 \text{ mm}$ pada $k = 1,22 \text{ kN/m}$, $m = 3,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	8	19	12	8	5	3,5	2,5000	0,067192	9,028711
2	8	19	12	8	5	3,5	2,6667	0,067192	9,028711
3	7,5	19	12	8	5,5	3,75	2,6667	0,064463	8,662049
4	7,5	18,5	12	8	5	3,5	2,6667	0,066137	8,887006
5	8	19	12	8	5,5	3,5	2,5000	0,067192	9,028711
6	8	18,5	12	8	5	3,75	2,5000	0,063408	8,520268
7	8	19	12	8	5,5	4	2,5000	0,061909	8,318883
8	7,5	19	12,5	8	5,5	3,75	2,6667	0,064463	8,662049
9	7,5	19	12	8	5,5	3,75	2,6667	0,064463	8,662049
10	8	19	12	8	5,5	3,75	2,5000	0,064463	8,662049

34. Data penelitian dengan jumlah lubang 2, $d = 7 \text{ mm}$ pada $k = 1,22 \text{ kN/m}$, $m = 4,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	8,5	20,5	13,5	9,5	6,5	4,5	2,3529	0,060254	9,125321
2	8,5	20,5	14	9,5	7	5	2,3529	0,056081	8,493333
3	9	20,5	14	9,5	6,5	4,5	2,2222	0,060254	9,125321
4	8,5	20	13,5	9,5	6,5	4,5	2,3529	0,059277	8,977248
5	8,5	20,5	13,5	9,5	7	5	2,3529	0,056081	8,493333
6	8,5	20	13,5	9,5	6,5	4,5	2,2222	0,059277	8,977248
7	9	20	13,5	10	7	5	2,2222	0,055103	8,345153
8	8,5	20,5	13,5	9,5	6,5	5	2,2222	0,056081	8,493333
9	8,5	20,5	13,5	9,5	6,5	4,75	2,2222	0,058113	8,801065
10	8,5	20,5	13,5	9,5	7	5	2,2222	0,056081	8,493333

35. Data penelitian dengan jumlah lubang 2, $d = 7 \text{ mm}$ pada $k = 3,3 \text{ kN/m}$, $m = 3,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	4,5	15,5	11,5	8,5	7	5,5	4,4444	0,041211	9,107462
2	4,25	17	12	9,5	7,5	6	4,7059	0,041424	9,154514
3	4,25	16	12	9	7	5,5	4,7059	0,042471	9,386044
4	4,5	15	11	8,5	7	5	4,4444	0,043693	9,656010
5	4,5	14,5	11	8,5	6,5	5	4,4444	0,042347	9,358583
6	4,5	15	11,5	8,5	7	5,5	4,4444	0,039909	8,819700
7	4,5	14,5	10,5	8	6,5	5	4,4444	0,042347	9,358583
8	4,25	16,5	12	9	7,5	5,5	4,7059	0,043693	9,656010
9	4,25	16	12	9	7,5	5,5	4,7059	0,042471	9,386044
10	4,5	17	12,5	9,5	7,5	6	4,4444	0,041424	9,154514

36. Data penelitian dengan jumlah lubang 2, $d = 7 \text{ mm}$ pada $k = 3,3 \text{ kN/m}$, $m = 4,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	5	19,5	15	11,5	9	7	4,0000	0,040751	10,150073
2	5	18	14	11	8,5	7	4,0000	0,037571	9,358232
3	5	19,5	15	11,5	9	7,25	4,0000	0,039357	9,802961
4	4,5	18,5	13,5	10,5	8,5	7	4,4444	0,038660	9,629316
5	5	20,5	15,5	12,5	9,5	8	4,0000	0,037433	9,323816
6	5	18,5	14,5	11,5	9	7,25	4,0000	0,037266	9,282119
7	5	16,5	13	10	8	6,5	4,0000	0,037059	9,230555
8	5	17,5	13,5	10,5	8,5	7	4,0000	0,036452	9,079477
9	5	16	12	9,5	8	6,5	4,0000	0,035836	8,926046
10	5	19	14,5	11,5	9	7,25	4,0000	0,038325	9,545982

37. Data penelitian dengan jumlah lubang 4, $d = 7 \text{ mm}$ pada $k = 1,22 \text{ kN/m}$, $m = 3,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	7,5	20	13	9	6,25	4,5	2,5000	0,059277	7,965172
2	8	20,5	13,5	9	6,5	4,5	2,5000	0,060254	8,096551
3	8	20,5	13,5	9	6,5	4,5	2,5806	0,060254	8,096551
4	7,5	20	13	9	6,5	4,5	2,6667	0,059277	7,965172
5	7,5	20,5	13,5	9,5	6,5	4,5	2,6667	0,060254	8,096551
6	7,5	20,5	13,5	9	6,5	4,5	2,6667	0,060254	8,096551
7	8	20	13	9	6,5	4,5	2,5000	0,059277	7,965172
8	7,5	20	13,5	9	6,5	4,5	2,6667	0,059277	7,965172
9	7,5	20	13	9	6	4,25	2,6667	0,061540	8,269253
10	7,5	20	13,5	9	6,5	4,5	2,6667	0,059277	7,965172

38. Data penelitian dengan jumlah lubang 4, $d = 7 \text{ mm}$ pada $k = 1,22 \text{ kN/m}$, $m = 4,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	8,5	21,5	14,5	10,5	7,5	5,5	2,2222	0,054192	8,207172
2	8,5	21	15	10,5	7,5	5,5	2,2222	0,053259	8,065922
3	8,5	21	14,5	10	7,5	5,5	2,2222	0,053259	8,065922
4	9	21	14,5	10	7,5	5,5	2,2222	0,053259	8,065922
5	9	20,5	14	10	7,5	5,5	2,2222	0,052304	7,921247
6	8	21	14,5	10,5	7,5	5	2,5000	0,057036	8,637919
7	8,5	20,5	14	10	7	5	2,3529	0,056081	8,493333
8	8,5	20	14	10	7,5	5	2,3529	0,055103	8,345153
9	9	20,5	14,5	10,5	7,5	5,5	2,3529	0,052304	7,921247
10	8,5	21	14,5	10	7,5	5,5	2,3529	0,053259	8,065922

39. Data penelitian dengan jumlah lubang 4, $d = 7 \text{ mm}$ pada $k = 3,3 \text{ kN/m}$, $m = 3,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	4,5	16,5	13	10	8	6	4,4444	0,040238	8,892534
2	4,5	17,5	13	10	8	6,5	4,4444	0,039396	8,706447
3	4,5	18,5	14	11	9	7	4,4444	0,038660	8,543727
4	4,5	18	13,5	10,5	8,5	6,5	4,4444	0,040515	8,953692
5	4	18	13,5	10,5	8,5	6,5	4,4444	0,040515	8,953692
6	4,5	18,5	13,5	11	8,5	7	4,4444	0,038660	8,543727
7	4,5	18	13,5	10,5	8,5	6,5	4,7059	0,040515	8,953692
8	4	18	13,5	10,5	8,5	6,5	5,0000	0,040515	8,953692
9	4	18,5	14	11	8,5	7	5,0000	0,038660	8,543727
10	4,5	17,5	13,5	10,5	8,5	6,5	4,4444	0,039396	8,706447

40. Data penelitian dengan jumlah lubang 4, $d = 7 \text{ mm}$ pada $k = 3,3 \text{ kN/m}$, $m = 4,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	5	17	14	11	9	7	4,0000	0,035301	8,792605
2	5	19,5	15	12	10	7,75	4,0000	0,036708	9,143115
3	5	18,5	15	12	10	7,75	4,0000	0,034616	8,622119
4	5	19	15	12	10	8	4,0000	0,034414	8,571834
5	4,5	20,5	15,5	12,5	10,5	8	4,4444	0,037433	9,323816
6	4,5	18	14,5	11,5	9,5	7,5	4,4444	0,034830	8,675476
7	5	19	15	12	10	8	4,0000	0,034414	8,571834
8	5	19,5	15	12	10	8	4,0000	0,035446	8,828924
9	5	19,5	15,5	12,5	10	8	4,0000	0,035446	8,828924
10	5	19	15	12	9,5	7,5	4,0000	0,036979	9,210545

41. Data penelitian dengan jumlah lubang 6, $d = 7 \text{ mm}$ pada $k = 1,22 \text{ kN/m}$, $m = 3,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	7	21	15	11	8	5,5	2,6667	0,053259	7,156587
2	7,5	21	15	11	8	5,5	2,6667	0,053259	7,156587
3	7,5	21,5	15	11	8	5,5	2,6667	0,054192	7,281913
4	7,5	21	15	11	8	5,5	2,6667	0,053259	7,156587
5	7,5	21	15	11	8	5,5	2,6667	0,053259	7,156587
6	7,5	21,5	15	11	8,5	5,5	2,6667	0,054192	7,281913
7	7,5	21,5	15	11,5	8,5	5,5	2,6667	0,054192	7,281913
8	7,5	21,5	15,5	11,5	8,5	6	2,6667	0,050742	6,818390
9	7	22	16	11,5	8,5	6	2,5000	0,051654	6,940883
10	7	22	15,5	11,5	8,5	6	2,5000	0,051654	6,940883

42. Data penelitian dengan jumlah lubang 6, $d = 7$ mm pada $k = 1,22$ kN/m, $m = 4,7$ kg.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	8,5	21,5	16	12	9	6	2,3529	0,050742	7,684753
2	8,5	21,5	16	12	9	6	2,3529	0,050742	7,684753
3	8	22	16,5	12,5	9,5	6,5	2,2222	0,048480	7,342054
4	8	22	16	12,5	9,5	6,5	2,2222	0,048480	7,342054
5	8,5	22	16,5	12,5	9,5	6,5	2,3529	0,048480	7,342054
6	8,5	22	16	12	9	6	2,3529	0,051654	7,822810
7	8,5	22	16,5	12,5	9,5	6,5	2,3529	0,048480	7,342054
8	8	22,5	16,5	12,5	9,5	7	2,3529	0,046431	7,031801
9	8,5	22,5	16,5	12,5	9,5	7	2,3529	0,046431	7,031801
10	8,5	21,5	16	12,5	9,5	6,5	2,3529	0,047568	7,203931

43. Data penelitian dengan jumlah lubang 6, $d = 7$ mm pada $k = 3,3$ kN/m, $m = 3,7$ kg.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	4	20	14	11	9	7,25	5,0000	0,040362	8,920003
2	4	17	13	11	9	7	4,7059	0,035301	7,801345
3	4,5	17,5	13,5	11,5	9,5	7,25	4,4444	0,035058	7,747745
4	4,5	16	12,5	10,5	8,5	6,5	4,4444	0,035836	7,919742
5	4,5	18	13,5	11	9	7	4,4444	0,037571	8,303205
6	4	20	15,5	13	10,5	8,5	5,0000	0,034043	7,523514
7	4	13	10,5	9	7,5	6	4,7059	0,030765	6,799058
8	4	21,5	16	13	10,5	8	4,7059	0,039325	8,690760
9	4,5	19	14,5	12	10	8	4,4444	0,034414	7,605463
10	4,5	22,5	17	13,5	10,5	8,5	4,4444	0,038723	8,557672

44. Data penelitian dengan jumlah lubang 6, $d = 7$ mm pada $k = 3,3$ kN/m, $m = 4,7$ kg.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	5	18	15	12,5	10	8	4,0000	0,032265	8,036622
2	4,5	18	15	12,5	10	8	4,0000	0,032265	8,036622
3	4,5	19,5	15,5	13	11	9	4,4444	0,030765	7,662964
4	5	20,5	17	14	11,5	9	4,0000	0,032753	8,158094
5	5	20,5	16,5	13,5	11,5	9	4,0000	0,032753	8,158094
6	5	23	18,5	15	12,5	10	4,0000	0,033139	8,254206
7	4,5	20,5	16,5	13,5	11,5	9	4,4444	0,032753	8,158094
8	4,5	19,5	15,5	13	11	8,75	4,4444	0,031885	7,941883
9	4,5	23	18,5	15,5	12,5	10,5	4,4444	0,031200	7,771176
10	5	22,5	18	15	12,5	10	4,0000	0,032265	8,036622

45. Data penelitian dengan jumlah lubang 8, $d = 7 \text{ mm}$ pada $k = 1,22 \text{ kN/m}$, $m = 3,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	7,5	20	15	11	8	6	2,6667	0,047874	6,432941
2	8	21	15,5	11,5	9	6	2,6667	0,049809	6,692997
3	8	21,5	15,5	11,5	8,5	6	2,6667	0,050742	6,818390
4	8	21,5	15,5	11,5	8,5	6	2,5000	0,050742	6,818390
5	8	21,5	15,5	11,5	9	6	2,6667	0,050742	6,818390
6	7,5	22	16	12	9	6	2,6667	0,051654	6,940883
7	7,5	20	15	11	8	5,5	2,6667	0,051325	6,896667
8	8,5	20	15	11	8	5,5	2,6667	0,051325	6,896667
9	8	21,5	15,5	12	9	6	2,6667	0,050742	6,818390
10	7,5	22	16	12	9	6	2,6667	0,051654	6,940883

46. Data penelitian dengan jumlah lubang 8, $d = 7 \text{ mm}$ pada $k = 1,22 \text{ kN/m}$, $m = 4,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	9	22	17	13	10	7,5	2,3529	0,042801	6,482008
2	9,5	22,5	17	13	10	7,5	2,3529	0,043693	6,617115
3	9	22,5	17	13	10	7,5	2,3529	0,043693	6,617115
4	8,5	22,5	17	13	10	7,5	2,3529	0,043693	6,617115
5	9	22,5	17	13	10	7,5	2,2222	0,043693	6,617115
6	9	22,5	17	13	10	7,5	2,3529	0,043693	6,617115
7	9	22	16,5	13	10	7,5	2,4242	0,042801	6,482008
8	8,5	22	16,5	12,5	9,5	7	2,3529	0,045539	6,896744
9	8,5	22	16,5	12,5	10	7	2,3529	0,045539	6,896744
10	9	22	17	13	10	7,5	2,3529	0,042801	6,482008

47. Data penelitian dengan jumlah lubang 8, $d = 7 \text{ mm}$ pada $k = 3,3 \text{ kN/m}$, $m = 3,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	4,5	21,5	15,5	13	11	9	4,7059	0,034646	7,656670
2	4	16	13	11	9,5	7,5	5,0000	0,030149	6,662847
3	4	19,5	15,5	13	10,5	8	5,0000	0,035446	7,833569
4	4	18,5	15	12,5	10,5	8	5,0000	0,033354	7,371249
5	4,5	18,5	14,5	12	10	8	4,4444	0,033354	7,371249
6	4,5	20,5	16	13	11	9	4,4444	0,032753	7,238368
7	4,5	19	15	12,5	10,5	8	4,4444	0,034414	7,605463
8	4,5	18,5	15	12,5	10,5	9	4,4444	0,028672	6,336529
9	4,5	19	15	13	10,5	9	4,4444	0,029733	6,570847
10	4,5	20	15,5	13	11	9	4,4444	0,031772	7,021469



48. Data penelitian dengan jumlah lubang 8, $d = 7$ mm pada $k = 3,3$ kN/m, $m = 4,7$ kg.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	4,75	20,5	17	14,5	12,5	10	4,2105	0,028565	7,114863
2	5	21	17	15	12,5	10	4,4444	0,029523	7,353501
3	5	21	17,5	15	13	10	4,2105	0,029523	7,353501
4	5	20,5	17	14,5	12,5	10	4,4444	0,028565	7,114863
5	4,75	20,5	17	14,5	12,5	10	4,2105	0,028565	7,114863
6	4,75	21	17,5	14,5	12,5	10,5	4,2105	0,027583	6,870312
7	4,75	20,5	17	14,5	12	10,5	4,2105	0,026625	6,631635
8	5	20,5	17	14,5	12,5	10	4,0000	0,028565	7,114863
9	5	20,5	17	14	12	10	4,0000	0,028565	7,114863
10	5	20	17	14,5	12,5	10	4,0000	0,027583	6,870312

49. Data penelitian dengan jumlah lubang 10, $d = 7$ mm pada $k = 1,22$ kN/m, $m = 3,7$ kg.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	7,5	20,5	15	10,5	8	6	2,6667	0,048853	6,564564
2	8	22	15,5	11,5	8,5	6,5	2,6667	0,048480	6,514326
3	7,5	21	15	11	8	6	2,6667	0,049809	6,692997
4	7,25	21,5	15,5	11	8	6	2,8571	0,050742	6,818390
5	7,5	21,5	15,5	11	8	6	2,6667	0,050742	6,818390
6	8	22	15,5	11,5	8	6	2,6667	0,051654	6,940883
7	8	21,5	15	11	8	6	2,6667	0,050742	6,818390
8	7,5	22	15,5	11,5	8,5	6,5	2,6667	0,048480	6,514326
9	7,5	21,5	15	11	8	6,5	2,6667	0,047568	6,391775
10	7,5	21,5	15,5	11	8	6,5	2,6667	0,047568	6,391775

50. Data penelitian dengan jumlah lubang 10, $d = 7$ mm pada $k = 1,22$ kN/m, $m = 4,7$ kg.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	9	21,5	16,5	11,5	9	7	2,3529	0,044627	6,758564
2	8,5	22	16	12	9	7	2,3529	0,045539	6,896744
3	8,5	22	16	12	9	7	2,3529	0,045539	6,896744
4	8,5	22	16,5	12,5	9,5	7,5	2,3529	0,042801	6,482008
5	9	22,5	17	12,5	9,5	7,5	2,3529	0,043693	6,617115
6	8,5	22	16	12	9,5	7,5	2,3529	0,042801	6,482008
7	8	22	16,5	12,5	9,5	7,5	2,3529	0,042801	6,482008
8	8,5	21,5	16	12	9	7	2,3529	0,044627	6,758564
9	9	21,5	16	12	9,5	7,5	2,3529	0,041888	6,343779
10	8,5	21,5	17	12,5	9,5	7,5	2,5000	0,041888	6,343779

51. Data penelitian dengan jumlah lubang 10, $d = 7$ mm pada $k = 3,3$ kN/m, $m = 3,7$ kg.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	4,5	15,5	12,5	10,5	9	8	5,0000	0,026320	5,816757
2	4,5	17,5	14	12	10	8,25	5,0000	0,029922	6,612785
3	4,5	17	14	12	10	8,25	5,0000	0,028770	6,358091
4	4,5	18,5	15	12,5	10,5	8,5	4,7059	0,030945	6,838720
5	4,5	18,5	15	12,5	10	8,25	4,4444	0,032131	7,100965
6	4,25	17	13,5	11,5	9,5	8	4,7059	0,029993	6,628460
7	4,25	17,5	14,5	12	10	8,25	4,7059	0,029922	6,612785
8	4,5	18	15	11,5	10	8,5	4,7059	0,029856	6,598006
9	4,5	14,5	12	10	8,5	7	4,4444	0,028978	6,404119
10	4,5	17	14	11,5	10	8,25	4,4444	0,028770	6,358091

52. Data penelitian dengan jumlah lubang 10, $d = 7$ mm pada $k = 3,3$ kN/m, $m = 4,7$ kg.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	4,75	19,5	16	14	12	10	4,2105	0,026576	6,619548
2	4,75	16,5	14	12	10	8,5	4,2105	0,026396	6,574627
3	4,75	19	16	13,5	11,5	10	4,2105	0,025543	6,362250
4	5	18	15	12,5	10,5	9,5	4,4444	0,025433	6,334772
5	5	20	16,5	14	12	10	4,4444	0,027583	6,870312
6	5	21,5	18	15	12,5	11	4,2105	0,026669	6,642610
7	4,75	19	16	13,5	11,5	10	4,2105	0,025543	6,362250
8	4,75	20	16,5	14	12	10	4,2105	0,027583	6,870312
9	5	19,5	16	13,5	11,5	10	4,0000	0,026576	6,619548
10	5	19,5	16	13,5	11,5	10	4,0000	0,026576	6,619548

53. Data penelitian dengan jumlah lubang 12, $d = 7$ mm pada $k = 1,22$ kN/m, $m = 3,7$ kg.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	7,5	21,5	16	12	9	7	2,6667	0,044627	5,996618
2	8	21,5	16	12	9	7	2,6667	0,044627	5,996618
3	7,5	22,5	16,5	12,5	9,5	7	2,6667	0,046431	6,239051
4	7,5	22	16	12	9	6,5	2,6667	0,048480	6,514326
5	7,5	22	16	12	9	7	2,6667	0,045539	6,119219
6	8	22,5	16	12	9	7	2,6667	0,046431	6,239051
7	8	22,5	16,5	12,5	9,5	7,5	2,6667	0,043693	5,871116
8	7,5	21,5	16	12	9	7	2,8571	0,044627	5,996618
9	7	21,5	15,5	12	9	7	2,8571	0,044627	5,996618
10	7,5	21,5	16,5	12,5	9,5	7,5	2,6667	0,041888	5,628595

54. Data penelitian dengan jumlah lubang 12, $d = 7$ mm pada $k = 1,22$ kN/m, $m = 4,7$ kg.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	8,75	22,5	17,5	13	10	8	2,3529	0,041131	6,229068
2	8,5	22	17	13	10	7,5	2,3529	0,042801	6,482008
3	8,5	21,5	16,5	12,5	10	7,5	2,3529	0,041888	6,343779
4	9	22	17	13	10	8	2,3529	0,040238	6,093917
5	9	22,5	17	13	10	8	2,3529	0,041131	6,229068
6	8,5	21,5	13,5	12,5	10	7,5	2,3529	0,041888	6,343779
7	8,5	22,5	17	13	10,5	8	2,4242	0,041131	6,229068
8	8,75	23	17,5	13,5	10,5	8	2,5000	0,042003	6,361234
9	9	23	17,5	14	10,5	8,5	2,5000	0,039596	5,996645
10	8,5	22,5	17,5	13	10,5	8	2,5000	0,041131	6,229068

55. Data penelitian dengan jumlah lubang 12, $d = 7$ mm pada $k = 3,3$ kN/m, $m = 3,7$ kg.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	4,25	16	14	11,5	10	8,5	5,0000	0,025172	5,562968
2	4,25	16	14	11,5	10	8,5	5,0000	0,025172	5,562968
3	4	13	11	9	7,5	6,5	4,7059	0,027583	6,095767
4	4,25	16,5	14	11,5	10	8,5	4,7059	0,026396	5,833417
5	4,25	15,5	13	11	9,5	8	4,7059	0,026320	5,816757
6	4,5	16	13,5	11	9,5	8	4,4444	0,027583	6,095767
7	4,5	15	12,5	10,5	9	7,5	4,4444	0,027583	6,095767
8	4	17	14	11,5	10	8,5	4,4444	0,027583	6,095767
9	4	16,5	13,5	11,5	9,5	8	5,0000	0,028806	6,366164
10	4	15	12,5	10,5	9	7,5	5,0000	0,027583	6,095767

56. Data penelitian dengan jumlah lubang 12, $d = 7$ mm pada $k = 3,3$ kN/m, $m = 4,7$ kg.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	5	15	13	11	9,5	8	4,0000	0,025016	6,231042
2	5	20	17	14,5	12,5	11	4,2105	0,023793	5,926197
3	5	21	17,5	15	13	11	4,2105	0,025733	6,409533
4	4,5	20,5	17	15	13	11	4,4444	0,024775	6,170821
5	4,75	20	16,5	14	12	10,5	4,2105	0,025643	6,387045
6	5	19	16	14	12	10,5	4,4444	0,023603	5,878907
7	5	18,5	15,5	13,5	11,5	10	4,2105	0,024483	6,098068
8	5	22	18,5	16	13,5	12	4,2105	0,024123	6,008413
9	4,75	20	16,5	14	12,5	10,5	4,2105	0,025643	6,387045
10	4,75	19,5	16,5	14	12	10,5	4,2105	0,024636	6,136243

57. Data penelitian dengan jumlah lubang 2, $d = 9 \text{ mm}$ pada $k = 1,22 \text{ kN/m}$, $m = 3,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	7,5	11,5	6,5	5	3,5	2,5	2,6667	0,060639	8,148201
2	8	13,5	7,5	5,5	4	3	2,6667	0,059769	8,031270
3	8	14,5	8,5	4,5	4	3	2,6667	0,062597	8,411375
4	7,5	11,5	6,5	5	3,5	2,5	2,6667	0,060639	8,148201
5	8	14,5	8	5,5	4,5	3	2,5000	0,062597	8,411375
6	8	13,5	7,5	5,5	4,5	3	2,5000	0,059769	8,031270
7	8	12	6,5	4,5	4	3	2,5000	0,055103	7,404338
8	7	14	8	5	4	3	2,8571	0,061208	8,224742
9	8	14,5	8	5,5	4,5	3	2,5000	0,062597	8,411375
10	8	13,5	7,5	5,5	4	3	2,5000	0,059769	8,031270

58. Data penelitian dengan jumlah lubang 2, $d = 9 \text{ mm}$ pada $k = 1,22 \text{ kN/m}$, $m = 4,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	8	15	9	6	5	4	2,3529	0,052545	7,957746
2	9	15,5	9,5	6	5	4	2,2222	0,053845	8,154595
3	9	15	9	5,5	5	3,5	2,2222	0,057836	8,759117
4	8	15	9	6	5	3,5	2,3529	0,057836	8,759117
5	8,5	15,5	9,5	6	5	3,5	2,3529	0,059135	8,955791
6	9	15,5	9,5	6	5	3,5	2,2222	0,059135	8,955791
7	8,5	16	9,5	6,5	5,5	4	2,3529	0,055103	8,345153
8	8	16	9,5	6,5	5,5	4	2,3529	0,055103	8,345153
9	9	15	9	5,5	5	3,5	2,2222	0,057836	8,759117
10	9	15,5	9,5	6	5	3,5	2,2222	0,059135	8,955791

59. Data penelitian dengan jumlah lubang 2, $d = 9 \text{ mm}$ pada $k = 3,3 \text{ kN/m}$, $m = 3,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	5	9	6,5	5	4	3,5	4,4444	0,037571	8,303205
2	4,5	9	6,5	5	4	3,5	4,4444	0,037571	8,303205
3	4	9	6,5	5	4	3,5	5,0000	0,037571	8,303205
4	4,5	9	6,5	5	4	3,5	4,4444	0,037571	8,303205
5	4,5	9	6,5	5	4	3	4,4444	0,043693	9,656010
6	4,5	9	6,5	5	4	3	4,4444	0,043693	9,656010
7	4,5	8	5,5	4	3	2,5	4,4444	0,046254	10,222077
8	4,5	9,5	6,5	5	4	3,5	4,4444	0,039719	8,777806
9	4	9	6	4	3	2,75	5,0000	0,047146	10,419140
10	4,5	9	6,5	5	4	3	4,4444	0,043693	9,656010

60. Data penelitian dengan jumlah lubang 2, $d = 9 \text{ mm}$ pada $k = 3,3 \text{ kN/m}$, $m = 4,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	4,75	10,5	8,5	6	5	4,5	4,0000	0,033711	8,396639
2	4,75	11	8,5	6	5	4,5	4,0000	0,035559	8,857080
3	4,75	10,5	8,5	6	4,5	4	4,2105	0,038391	9,562241
4	4,75	10,5	8,5	6	4,5	4	4,2105	0,038391	9,562241
5	4,75	10,5	8,5	6	4,5	4	4,2105	0,038391	9,562241
6	4,75	11	8,5	6	5	4,5	4,2105	0,035559	8,857080
7	4,75	8,5	6,5	4,5	4	3,5	4,2105	0,035301	8,792605
8	4,75	11	8,5	6	4,5	4	4,0000	0,040238	10,022443
9	4,75	9	6,5	4,5	4	3,5	4,2105	0,037571	9,358232
10	4,75	8,5	6	4	3,5	3	4,2105	0,041424	10,317711

61. Data penelitian dengan jumlah lubang 4, $d = 9 \text{ mm}$ pada $k = 1,22 \text{ kN/m}$, $m = 3,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	7,5	13,5	8	4,5	4	3	2,6667	0,059769	8,031270
2	8	13,5	8	5	4	3	2,6667	0,059769	8,031270
3	8	14	8,5	5	3,5	3	2,6667	0,061208	8,224742
4	7,5	16	9,5	5,5	4,5	3,5	2,6667	0,060392	8,115056
5	7,5	14,5	9	5,5	4,5	3	2,6667	0,062597	8,411375
6	8	15	9	5	4,5	3,5	2,6667	0,057836	7,771633
7	8	15	9	5	4	3	2,5000	0,063939	8,591635
8	7,5	13	8	4,5	4	3	2,6667	0,058274	7,830442
9	7,5	14,5	9	5,5	4,5	3,25	2,6667	0,059429	7,985598
10	8	14,5	9	5	4,5	3,25	2,5000	0,059429	7,985598

62. Data penelitian dengan jumlah lubang 4, $d = 9 \text{ mm}$ pada $k = 1,22 \text{ kN/m}$, $m = 4,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	8,25	13	8	5	4	3,5	2,3529	0,052166	7,900290
2	8,5	16	10	6	4,5	3,5	2,3529	0,060392	9,146176
3	9	16,5	10,5	6,5	5	4,5	2,2222	0,051654	7,822810
4	8,5	15,5	10	6,5	5	4	2,3529	0,053845	8,154595
5	8,5	16,5	10	6,5	5	4	2,3529	0,056322	8,529810
6	8,25	16	10,5	6,5	5	4	2,4242	0,055103	8,345153
7	9	15,5	10	6	4,5	3,5	2,2222	0,059135	8,955791
8	8,75	15	10	6,5	4,5	3,5	2,2857	0,057836	8,759117
9	9	15	10	6	4,5	3,5	2,2222	0,057836	8,759117
10	9	12,5	8	5	3,5	3	2,2222	0,056720	8,590113

63. Data penelitian dengan jumlah lubang 4, $d = 9$ mm pada $k = 3,3$ kN/m, $m = 3,7$ kg.

No	λ	X					f	ζ	c
		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5			
1	4	8,5	6	5	3,5	3	5,0000	0,041424	9,154514
2	4,5	8	6	4,5	3	2,75	4,4444	0,042471	9,386044
3	4,5	8,5	6	5	3,5	3	4,4444	0,041424	9,154514
4	4,5	9	6,5	5	4	3,5	4,4444	0,037571	8,303205
5	4	9	6,5	5	4	3,5	5,0000	0,037571	8,303205
6	4	9	6,5	5	4	3,5	5,0000	0,037571	8,303205
7	4,5	8,5	6,5	5	4	3,5	4,4444	0,035301	7,801345
8	4,5	8,5	6	5	3,5	3,25	4,4444	0,038245	8,452000
9	4,5	9	6,5	5	4	3,5	4,4444	0,037571	8,303205
10	4	9	6,5	5	4	3,5	4,4444	0,037571	8,303205

64. Data penelitian dengan jumlah lubang 4, $d = 9$ mm pada $k = 3,3$ kN/m, $m = 4,7$ kg.

No	λ	X					f	ζ	c
		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5			
1	5	8,5	6,5	5	4	3,5	4,2105	0,035301	8,792605
2	5	8	6,5	5	4	3,5	4,2105	0,032891	8,192527
3	5	8	6,5	5	4	3,5	4,0000	0,032891	8,192527
4	5	8	6,5	5	4	3,5	4,0000	0,032891	8,192527
5	5	9	6,5	5	4	3,5	4,0000	0,037571	9,358232
6	5	9	6,5	5	4	3,5	4,2105	0,037571	9,358232
7	5	8,5	6,5	5	4	3,5	4,4444	0,035301	8,792605
8	5	8,5	6,5	5	4	3,5	4,4444	0,035301	8,792605
9	5	9	6,5	5	4	3,5	4,4444	0,037571	9,358232
10	5	8,5	6,5	5	4	3,5	4,4444	0,035301	8,792605

65. Data penelitian dengan jumlah lubang 6, $d = 9$ mm pada $k = 1,22$ kN/m, $m = 3,7$ kg.

No	λ	X					f	ζ	c
		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5			
1	7	13,5	8,5	5	4,5	4	2,6667	0,048367	6,499161
2	7	16	9,5	6	4,5	4	2,6667	0,055103	7,404338
3	7,5	16	10	6	4,5	4	2,6667	0,055103	7,404338
4	7,5	16,5	10	6	5	4,5	2,6667	0,051654	6,940883
5	8	16	10	6	4,5	4	2,5000	0,055103	7,404338
6	7	17	10,5	6	4,5	4	2,6667	0,057505	7,727092
7	7	17	10,5	6	5	4,5	2,6667	0,052838	7,099920
8	7,5	17	11	7	4,5	5	2,6667	0,048659	6,538500
9	7,5	16	10,5	6,5	4,5	4	2,6667	0,055103	7,404338
10	7	16,5	11	7	5,5	5	2,6667	0,047475	6,379363

66. Data penelitian dengan jumlah lubang 6, $d = 9$ mm pada $k = 1,22$ kN/m, $m = 4,7$ kg.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	8,5	16,5	10,5	7	5,5	4,5	2,3529	0,051654	7,822810
2	8,5	16	11	7,5	6	5	2,3529	0,046254	7,005033
3	8	17	12,5	8	5,5	4,5	2,3529	0,052838	8,002055
4	8	17	11,5	8	6,5	5,5	2,3529	0,044878	6,796567
5	8,5	18	12	8	6,5	5,5	2,3529	0,047146	7,140077
6	8	18,5	12	8	6,5	5,5	2,3529	0,048233	7,304699
7	8	18	12,5	8	6,5	5,5	2,2222	0,047146	7,140077
8	8,5	17,5	12	8	6,5	5,5	2,3529	0,046028	6,970789
9	8,5	17,5	12	7,5	6,5	5,5	2,3529	0,046028	6,970789
10	8	16,5	10,5	7	5,5	4,5	2,5000	0,051654	7,822810

67. Data penelitian dengan jumlah lubang 6, $d = 9$ mm pada $k = 3,3$ kN/m, $m = 3,7$ kg.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	4	8	5,5	4	3,5	3	5,0000	0,039016	8,622452
2	4,5	10	6	5	4	3,5	4,4444	0,041756	9,227945
3	4	7	5,5	4,5	4	3,5	5,0000	0,027583	6,095767
4	4,5	9,5	6,5	5	4,5	4	4,4444	0,034414	7,605463
5	4	7	5,5	4,5	4	3,5	5,0000	0,027583	6,095767
6	4	10	7	5	4,5	4	5,0000	0,036452	8,055876
7	4,5	9	6,5	5	4	3,5	4,4444	0,037571	8,303205
8	4,5	9	6,5	5	4	3,5	4,4444	0,037571	8,303205
9	4,5	9	7	5	4,5	4	4,4444	0,032265	7,130590
10	4	9	6,5	5	4	3,5	4,4444	0,037571	8,303205

68. Data penelitian dengan jumlah lubang 6, $d = 9$ mm pada $k = 3,3$ kN/m, $m = 4,7$ kg.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	5	7,5	5,5	4,5	4	3,5	4,4444	0,030326	7,553552
2	5	7,5	5,5	4,5	4	3,5	4,4444	0,030326	7,553552
3	5	7,5	5,5	4,5	4	3,5	4,2105	0,030326	7,553552
4	4,5	11	8,5	6	5	4,5	4,4444	0,035559	8,857080
5	5	7,5	5,5	4,5	4	3,5	4,0000	0,030326	7,553552
6	5	7,5	5,5	4,5	4	3,5	4,0000	0,030326	7,553552
7	4,5	7,5	5,5	4,5	4	3,5	4,4444	0,030326	7,553552
8	4,5	7,5	5,5	4,5	4	3,5	4,4444	0,030326	7,553552
9	4,5	11	8,5	6	5	4	4,4444	0,040238	10,022443
10	5	7,5	5,5	4,5	4	3,5	4,2105	0,030326	7,553552



69. Data penelitian dengan jumlah lubang 8, $d = 9$ mm pada $k = 1,22$ kN/m, $m = 3,7$ kg.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	7,5	18,5	13	9	6	4	2,6667	0,060853	8,177034
2	7,5	18,5	13	9	6	4,5	2,6667	0,056189	7,550222
3	8	22	16,5	12	9	7	2,6667	0,045539	6,119219
4	7,5	22	15,5	12	8,5	6,5	2,6667	0,048480	6,514326
5	7,5	22	16	11,5	9	7	2,6667	0,045539	6,119219
6	7,5	22	16	12	8,5	6,5	2,6667	0,048480	6,514326
7	7,5	22,5	16	12	9	7	2,6667	0,046431	6,239051
8	7,5	22,5	16	12	9	7	2,6667	0,046431	6,239051
9	7,5	22	16	12	9	7	2,6667	0,045539	6,119219
10	7,5	22,5	16	12	9	7	2,8571	0,046431	6,239051

70. Data penelitian dengan jumlah lubang 8, $d = 9$ mm pada $k = 1,22$ kN/m, $m = 4,7$ kg.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	9	22,5	17	12,5	9,5	8	2,3529	0,041131	6,229068
2	8,5	23	17	13	9,5	7,5	2,3529	0,044565	6,749238
3	8,5	23	17	13	10	7,5	2,3529	0,044565	6,749238
4	9	23	17	13	10	7,5	2,3529	0,044565	6,749238
5	9	23	17	13	10	7,5	2,3529	0,044565	6,749238
6	8,5	23	17	12,5	10	7,5	2,3529	0,044565	6,749238
7	8,5	22,5	17	13	10	7,5	2,3529	0,043693	6,617115
8	9	23,5	17,5	13,5	10	8	2,4242	0,042857	6,490543
9	9	23	17,5	13	10	8	2,5000	0,042003	6,361234
10	8,5	23	17	13	10	8	2,3529	0,042003	6,361234

71. Data penelitian dengan jumlah lubang 8, $d = 9$ mm pada $k = 3,3$ kN/m, $m = 3,7$ kg.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	4,5	17	13,5	11	9	7,5	4,7059	0,032559	7,195416
2	4,5	14	11,5	9	7,5	6,5	5,0000	0,030529	6,746919
3	4,5	15	12	10	8,5	7	4,7059	0,030326	6,701981
4	4,5	12	9,5	8	6,5	5	4,4444	0,034830	7,697421
5	4,5	18,5	14,5	12	9,5	8	4,4444	0,033354	7,371249
6	4,5	17,5	13,5	11	9	7,5	4,4444	0,033711	7,450019
7	4,5	16	12,5	10,5	9	7,5	5,0000	0,030149	6,662847
8	4,5	16	13	10,5	9	7,5	4,7059	0,030149	6,662847
9	4,5	20	15,5	12,5	10	9	5,0000	0,031772	7,021469
10	4,5	20,5	16	13	10,5	9	4,4444	0,032753	7,238368

72. Data penelitian dengan jumlah lubang 8, $d = 9$ mm pada $k = 3,3$ kN/m, $m = 4,7$ kg.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	5	12	10	8,5	7	6	4,4444	0,027583	6,870312
2	5	16	13,5	11	9,5	8	4,4444	0,027583	6,870312
3	4,5	11	9,5	8	6,5	5,5	4,4444	0,027583	6,870312
4	5	13	11	9	7,5	6,5	4,2105	0,027583	6,870312
5	5	15	12	10	8,5	7,5	4,4444	0,027583	6,870312
6	5	14	11,5	10	8,5	7	4,4444	0,027583	6,870312
7	5	16,5	13,5	11	9,5	8	4,4444	0,028806	7,175066
8	5	16	13,5	11	9,5	8	4,2105	0,027583	6,870312
9	5	15	12,5	10,5	8,5	7	4,4444	0,030326	7,553552
10	5	17	14,5	12	10	8,5	4,2105	0,027583	6,870312

73. Data penelitian dengan jumlah lubang 10, $d = 9$ mm pada $k = 1,22$ kN/m, $m = 3,7$ kg.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	8	20,5	15	11,5	8	6	2,6667	0,048853	6,564564
2	8,5	22	15,5	11,5	8,5	6,5	2,6667	0,048480	6,514326
3	8	20,5	15	11	8,5	6	2,6667	0,048853	6,564564
4	7,5	22	16,5	12	9	6,5	2,6667	0,048480	6,514326
5	8	22	16,5	12	9	6,5	2,6667	0,048480	6,514326
6	8	22	16	12	9	7	2,6667	0,045539	6,119219
7	8	22,5	16,5	12	9	7	2,8571	0,046431	6,239051
8	7,5	22,5	16,5	12,5	9	6,5	2,6667	0,049371	6,634107
9	7,5	22,5	16,5	12,5	9	7	2,6667	0,046431	6,239051
10	8	22,5	16,5	12,5	9	7	2,8571	0,046431	6,239051

74. Data penelitian dengan jumlah lubang 10, $d = 9$ mm pada $k = 1,22$ kN/m, $m = 4,7$ kg.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	9	21,5	16	12,5	9,5	7	2,2222	0,044627	6,758564
2	9	20,5	15,5	12,5	9,5	7	2,4242	0,042736	6,472240
3	9	20,5	15,5	12	9	7	2,4242	0,042736	6,472240
4	9	20,5	15,5	12	9	7	2,5000	0,042736	6,472240
5	9	19,5	15	11,5	9	6,5	2,5000	0,043693	6,617115
6	9	20	15	11,5	9	7	2,5000	0,041756	6,323769
7	9	17	13	10	7,5	5,5	2,5000	0,044878	6,796567
8	9	19	14	11	8,5	6,5	2,3529	0,042662	6,460949
9	9	19	14,5	11	8,5	6,5	2,3529	0,042662	6,460949
10	9	20,5	15,5	12	9	7	2,3529	0,042736	6,472240

75. Data penelitian dengan jumlah lubang 10, $d = 9$ mm pada $k = 3,3$ kN/m, $m = 3,7$ kg.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	4,5	15	13	10,5	9	8	4,7059	0,025016	5,528567
2	4,5	20	16	13	11	9,25	4,4444	0,030683	6,780774
3	4,5	16,5	13	11	9	7,75	4,7059	0,030069	6,645116
4	4,5	21	17,5	14,5	11,5	9,5	5,0000	0,031562	6,975113
5	4,5	18,5	15	12	10	9	5,0000	0,028672	6,336529
6	4,5	20	16	13	11	9,5	4,7059	0,029622	6,546475
7	4,5	20	15,5	12,5	10,5	9,25	4,7059	0,030683	6,780774
8	4,5	19	15	12,5	10	9	4,4444	0,029733	6,570847
9	4,5	18	15	13	10,5	9	4,4444	0,027583	6,095767
10	4,5	15,5	13	11	9	7,5	5,0000	0,028887	6,383897

76. Data penelitian dengan jumlah lubang 10, $d = 9$ mm pada $k = 3,3$ kN/m, $m = 4,7$ kg.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	5	17,5	14,5	12	10,5	9	4,4444	0,026463	6,591288
2	5	16,5	14	12	10	9	4,4444	0,024123	6,008413
3	5	18	15,5	13	11	9,5	4,4444	0,025433	6,334772
4	5	16,5	13,5	11,5	10	8,5	4,4444	0,026396	6,574627
5	5	14,5	12	10,5	9	7,5	4,4444	0,026235	6,534525
6	5	15,5	13,5	11,5	10	8,5	4,4444	0,023909	5,955293
7	5	19	13,5	13,5	11,5	10	4,4444	0,025543	6,362250
8	5	18	15	13	11	10	4,4444	0,023393	5,826626
9	5	18	15	13	11	9,5	4,4444	0,025433	6,334772
10	5	17,5	14,5	10,5	10,5	9	4,2105	0,026463	6,591288

77. Data penelitian dengan jumlah lubang 12, $d = 9$ mm pada $k = 1,22$ kN/m, $m = 3,7$ kg.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	8	23,5	16,5	12,5	9,5	7	2,6667	0,048156	6,470882
2	7	22	16,5	12,5	9,5	7,5	2,8571	0,042801	5,751240
3	7	22	17	12,5	10	7,5	2,8571	0,042801	5,751240
4	7	23	17,5	13,5	10,5	8	2,7586	0,042003	5,644081
5	7,5	23,5	18	14	11	8,5	2,6667	0,040450	5,435361
6	7,5	24	18	13,5	10,5	8	2,6667	0,043693	5,871116
7	7	22,5	17,5	13,5	10,5	8	2,8571	0,041131	5,526816
8	7	23,5	18	13,5	10,5	8	2,8571	0,042857	5,758813
9	7,5	24	18	14	11	8,5	2,6667	0,041286	5,547699
10	8	23,5	18	14	11	8,5	2,5000	0,040450	5,435361

78. Data penelitian dengan jumlah lubang 12, $d = 9 \text{ mm}$ pada $k = 1,22 \text{ kN/m}$, $m = 4,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	8	21,5	16,5	13	10	8	2,5000	0,039325	5,955644
2	8	23	17,5	14	11	9	2,5000	0,037325	5,652807
3	8,5	23	18	14	11	9	2,3529	0,037325	5,652807
4	8,5	23,5	18,5	14	11,5	9	2,3529	0,038180	5,782189
5	8	23	17,5	14	11,5	9	2,5000	0,037325	5,652807
6	8	23	18	14	11	8,5	2,5000	0,039596	5,996645
7	8,5	22	17	13,5	10,5	8,5	2,3529	0,037830	5,729252
8	8,5	23	17,5	14	11	9	2,3529	0,037325	5,652807
9	8	22	17	13,5	10,5	8,5	2,5000	0,037830	5,729252
10	8	23	17,5	14	11	9	2,5000	0,037325	5,652807

79. Data penelitian dengan jumlah lubang 12, $d = 9 \text{ mm}$ pada $k = 3,3 \text{ kN/m}$, $m = 3,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	4	16	13,5	11,5	10	8,5	5,0000	0,025172	5,562968
2	4,5	14,5	12,5	10,5	9	8	4,4444	0,023668	5,230578
3	4	17,5	14,5	12,5	10,5	9	5,0000	0,026463	5,848200
4	4	17,5	14,5	12,5	10,5	9	5,0000	0,026463	5,848200
5	4	14	12	10,5	9	7,5	5,0000	0,024839	5,489416
6	4	17,5	14,5	12,5	11	9,5	5,0000	0,024312	5,372994
7	4	17	14	12	10,5	9	4,7059	0,025310	5,593434
8	4,5	18	15	13	11	9,5	4,4444	0,025433	5,620603
9	4,5	18	15	13	11	9,5	4,4444	0,025433	5,620603
10	4	20	16,5	14	12,5	10,5	4,4444	0,025643	5,666983

80. Data penelitian dengan jumlah lubang 12, $d = 9 \text{ mm}$ pada $k = 3,3 \text{ kN/m}$, $m = 4,7 \text{ kg}$.

No	λ	X					f	ζ	c
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅			
1	4,75	19	16,5	14,5	12,5	11	4,4444	0,021752	5,417992
2	5	16,5	14	12,5	11	9,5	5,0000	0,021972	5,472735
3	4,75	12,5	10,5	9,5	8	7	4,4444	0,023076	5,747681
4	4,5	17,5	15	13	11,5	10	4,4444	0,022272	5,547515
5	4,5	12	10	9	8,5	8	4,4444	0,016139	4,019881
6	4,75	19,5	16,5	14,5	13	11,5	4,2105	0,021017	5,234916
7	5	13,5	12	10,5	9	8	4,2105	0,020825	5,187161
8	4,5	20	17	15	13	11,5	4,4444	0,022024	5,485781
9	4,5	14	12	10,5	9,5	8,5	4,4444	0,019860	4,946790
10	5	21	18	16	14	12	4,4444	0,022272	5,547515