

SKRIPSI

ANALISIS BACK PRESSURE
PADA RONGGA DEPAN RANCANGAN *MUFFLER PSS-XI*
DENGAN METODE DEKOMPOSISI SPEKTRAL EMPAT MIKROFON

Hani Afnita Murti

M.0201005

Sebagai salah satu syarat untuk menempuh derajat Sarjana Sains
pada jurusan Fisika



Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Sebelas Maret
Surakarta
2006

SKRIPSI
ANALISIS *BACK PRESSURE* PADA RONGGA DEPAN RANCANGAN
***MUFFLER PSS-XI* DENGAN METODE DEKOMPOSISI SPEKTRAL**
EMPAT MIKROFON

Hani Afnita Murti

M.0201005

Dinyatakan lulus ujian skripsi oleh tim penguji

Pada hari Sabtu, 5 Agustus 2006

Tim Penguji

1. **Drs. Iwan Yahya, M.Si**
- NIP. 132 046 015
2. **Budi Legowo, S.Si., M.Si**
- NIP. 132 240 168
3. **Agus Supriyanto, S.Si., M.Si**
- NIP. 132 240 169
4. **Drs. Syamsurizal**
- NIP. 131 791 756

Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Sains

Dekan

Ketua Jurusan Fisika

Drs. H. Marsusi, M.S
NIP. 130 906 776

Drs. Harjana, M.Si., Ph.D
NIP. 131 570 309

PERNYATAAN

ANALISIS *BACK PRESSURE* PADA RONGGA DEPAN RANCANGAN *MUFFLER PSS-XI* DENGAN METODE DEKOMPOSISI SPEKTRAL EMPAT MIKROFON

Oleh :

Hani Afnita Murti
M.0201005

“ Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil penelitian saya dan sepengetahuan saya hingga saat ini tidak berisi materi yang telah dipublikasikan atau ditulis oleh orang lain atau materi yang telah diajukan untuk mendapatkan gelar di Universitas Sebelas Maret Surakarta atau di perguruan tinggi lainnya, kecuali telah dituliskan di daftar pustaka skripsi ini. Semua bantuan dari berbagai pihak telah saya tuliskan di bagian ucapan terima kasih skripsi ini”.

Surakarta, 17 Juni 2006

Penulis

Hani Afnita Murti

MOTTO

MOTTO

vvv

*Saya memohon kekuatan..dan Allah memberikan saya kesulitan-
kesulitan untuk membuat saya kuat*

*Saya memohon kebijakan..dan Allah memberikan saya persoalan
untuk diselesaikan*

*Saya memohon kemakmuran..dan Allah memberi saya bahaya
untuk diatasi*

*Saya memohon kebahagiaan dan cinta kasih..dan Allah
memberikan kesedihan-kesedihan untuk dilewati*

*Saya memohon cinta..dan Allah memberi saya orang-orang
bermasalah untuk ditolong*

*Saya tidak memperoleh yang saya inginkan tetapi saya
mendapatkan segala yang saya butuhkan untuk mengarungi
kehidupan ini.*

“Allah Maha Tahu apa yang terbaik untuk kita”

vvv

Our Lord I give into us in the world that which is good

And in the hereafter that which is good,

And guard us from the doom of fire.

(Q.S. 2: 201)

vvv

Life is a struggle to achieve happiness

In this world and the here after

vvv

Friendships are like stars, not always seen, but they are always there

vvv

Impossible is Nothing

PERSEMBAHAN

Dedicated with
 y affection,
 Y love,
s honor,
 J and gratitude

to my beloved parents
thanks for your endless love,
prayer, patience, spirit and
sacrifice which you gave to me in
all my life.

**"..... Every prayer of yours
is the strength
which leads my wobbly steps
facing every second
of my struggle"**

to my sisters, brother, and my
beloved one,

thanks for the support and
motivation for my success.



KATA PENGANTAR

Puji syukur alhamdulillah penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi yang berjudul Analisis *Back Pressure* pada Rongga Depan Rancangan *Muffler PSS-X1* dengan Metode Dekomposisi Spektral Empat Mikrofon.

Penulis menyadari, bahwa skripsi ini dapat dipersembahkan karena bantuan dari banyak pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Drs. Marsusi, M.S selaku Dekan FMIPA Universitas Sebelas Maret.
2. Bapak Drs. Harjana, M.Si, Ph.D selaku ketua jurusan Fisika FMIPA Universitas Sebelas Maret.
3. Bapak Drs. Iwan Yahya, M.Si selaku pembimbing 1 skripsi di jurusan Fisika FMIPA Universitas Sebelas Maret.
4. Bapak Budi Legowo.S.Si.,M.Si selaku pembimbing 2 skripsi di jurusan Fisika FMIPA Universitas Sebelas Maret.
5. Bapak Agus Supriyanto,S.Si.,M.Si selaku penguji di jurusan Fisika FMIPA Universitas Sebelas Maret.
6. Bapak Drs. Syamsurizal selaku penguji di jurusan Fisika FMIPA Universitas Sebelas Maret.
7. Bapak Fuad Anwar, M.Si selaku pembimbing akademik di jurusan Fisika FMIPA Universitas Sebelas Maret yang sangat baik hati.
8. Bapak Nuryani, M.Si juga bapak dan ibu dosen serta staf di jurusan Fisika FMIPA Universitas Sebelas Maret yang telah memberikan bantuan baik berupa bimbingan, dorongan dan masukan selama ini.
9. My indebtedness is due to my beloved parents, my gratitude also go to my brother and my sisters and all my family members for their endless love, affection and support for my success. And especially to Eri Setyo Yuhartanto (my_ELLO: Sungguh Tuhan ku bersyukur pada-Mu,Kau

izinkan aku untuk mencintainya, kau terbaik yang pernah kumiliki) “May Allah Bless Us” and his family in Kebumen.

10. Keponakan2 yang manis: Rina B.E.NingTyas, Tioed Nida Ratna S, Dear Sulthana Majid, Dear Whizkid Azis, Zaky Raihan Hafiizh dan Zikra Hanif Wantasen. Semoga kelak menjadi orang sukses dan selalu di Ridhoi Allah SWT, Amiin.

11. Semua keluarga besar di Kartasura, Solo, Jakarta, Yogyakarta, Manado dll.

Tak ada gading yang tak retak, tak ada sesuatu yang sempurna. Demikian pula penulis dalam menyusun skripsi ini belum sempurna, maka penulis mengharap segala saran dan kritik yang bersifat membangun. Penulis berharap semoga segala bantuan, bimbingan dan dorongan yang telah diberikan kepada penulis akan mendapatkan balasan dari Allah SWT. Semoga skripsi yang sederhana ini akan bermanfaat bagi kita semua, Amin.

Surakarta, 17 Juni 2006

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan	ii
Lembar Pernyataan Penulis.....	iii
Motto	iv
Persembahan	v
Kata Pengantar	vi
Daftar Isi	viii
Daftar Gambar	x
Daftar Tabel	xi
Daftar Lampiran	xii
Daftar Simbol	xiii
Abstract	xvi
Intisari	xvii
Bab I Pendahuluan	
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Tujuan Penelitian	3
I.3 Batasan Masalah	3
I.4 Perumusan Masalah	3
I.5 Manfaat Penelitian	4
I.6 Sistematika Penulisan	4
Bab II Dasar Teori	
II.1 Gelombang Bunyi	6
II.2 Perambatan Gelombang pada Pipa	9
II.3 Efek dari Percabangan (<i>Side Branch</i>)	12
II.3 Perambatan Gelombang pada Medium Berlapis	15
II.5 <i>Muffler</i>	18
II.6 Metode Dekomposisi	20

Bab III Metodologi Penelitian

III.1 Tempat dan Waktu Penelitian	23
III.2 Alat dan Bahan Penelitian	23
III.3 Metode Penelitian	25
III.4 Prosedur Penelitian	26

Bab IV Hasil dan Pembahasan

IV.1 Rongga Depan Rancangan <i>Muffler PSS-XI</i>	28
IV.2 Pengujian Rongga Depan Rancangan <i>Muffler PSS-XI</i>	28
IV.3 Analisis Hasil Pengujian	29
IV.3.1 Perbandingan konfigurasi 1 dan konfigurasi 2	29
IV.3.2 Perbandingan konfigurasi 3, konfigurasi 4, konfigurasi 5 dan konfigurasi 6	31
IV.3.3 Perbandingan konfigurasi 7, konfigurasi 8, konfigurasi 9 dan konfigurasi 10	33
IV.4 Pembahasan	34
IV.4.1 Konfigurasi dengan Kinerja <i>Back Pressure</i> Terbaik	34
IV.4.2 Analisa Kontribusi Struktur Rongga Depan Rancangan <i>Muffler PSS-XI</i>	35
IV.4.3 Analisa Kontribusi <i>Filler</i>	39

Bab V Kesimpulan dan Saran

V.1 Kesimpulan	40
V.2 Saran	40

Daftar Pustaka

Lampiran

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Pemasangan muffler pada kendaraan bermotor	1
Gambar 2.1 Representasi gelombang $j = g(ct - x)$	7
Gambar 2.2 Bentuk gelombang $j = a_1 \cos k(ct - x)$ pada saat $t = 0$	8
Gambar 2.3 Gelombang datang dan gelombang pantul dalam sebuah pipa	10
Gambar 2.4 Gelombang datang dan gelombang pantul dengan perubahan penampang lintang dalam sebuah pipa	11
Gambar 2.5 Gelombang dalam pipa dengan sebuah <i>side branch</i>	13
Gambar 2.6 Gelombang pada dua <i>layer</i>	15
Gambar 2.7 <i>Absorptive muffler</i>	18
Gambar 2.8 Set up teori dekomposisi	21
Gambar 3.1 Set up metode dekomposisi empat mikrofon	25
Gambar 3.2 Diagram prosedur penelitian	27
Gambar 4.1 Grafik <i>overlay</i> konfigurasi 1 dan konfigurasi 2	29
Gambar 4.2 Grafik <i>overlay</i> konfigurasi 3, konfigurasi 4, konfigurasi 5 dan konfigurasi 6	31
Gambar 4.3 Grafik <i>overlay</i> konfigurasi 7, konfigurasi 8, konfigurasi 9 dan konfigurasi 10	33
Gambar 4.4 Grafik perbandingan konfigurasi terbaik	35
Gambar 4.5 Skema desain SPB.....	36
Gambar 4.6 Skema desain MPB	36
Gambar 4.7 Skema resonator <i>Helmholtz</i>	37

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi <i>prototype PSS-XI</i>	23
Tabel 3.2 Konfigurasi Pengujian	24

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Data Hasil Pengujian
- Lampiran 2 Grafik Hasil Pengujian

DAFTAR SIMBOL

j	=	amplitude, kecepatan partikel, tekanan
S_{11}	=	<i>auto spectrum</i> dari tekanan akustik total pada titik 1
S_{22}	=	<i>auto spectrum</i> dari tekanan akustik total pada titik 2
S_{BB}	=	<i>auto spectrum</i> gelombang pantul
S_{AA}	=	<i>auto spectrum</i> untuk gelombang datang
Q_{12}	=	bagian <i>imaginer</i> dari <i>cross spectrum</i> antara titik 1 dan 2
C_{12}	=	bagian <i>real</i> dari <i>cross spectrum</i> antara titik 1 dan 2
S_i	=	diameter dalam (<i>inlet</i>) <i>muffler</i> (m)
S_0	=	diameter luar (<i>outlet</i>) <i>muffler</i> (m)
A_1	=	amplitudo gelombang datang
A_2	=	amplitudo gelombang transmisi
B_1	=	amplitudo gelombang refleksi
A_3	=	amplitudo gelombang pada percabangan
W	=	energi bunyi (J)
W_i	=	energi bunyi datang (J)
W_r	=	energi bunyi pantulan (J)
w	=	frekuensi <i>angular</i> (rad/s)
g	=	fungsi independent yang menjelaskan gelombang
h	=	fungsi independent yang menjelaskan gelombang

- Z_0 = impedansi akustik (Ω)
 Z_x = impedansi akustik pada titik x (Ω)
 Z_b = impedansi akustik untuk kasus *side branch* (Ω)
 x = jarak (m)
 x_{12} = jarak antar dua mikrofon (m)
 U_i = kecepatan volume gelombang datang (m/s)
 U_r = kecepatan volume gelombang pantul (m/s)
 U_b = kecepatan volume gelombang pada percabangan (m/s)
 R_b = resistansi pada percabangan (Ω)
 X_b = reaktansi pada percabangan
 r = kerapatan (kg/m^3)
 a_r = koefisien refleksi
 a_t = koefisien transmisi
 p = konstanta nilai 3.14 atau $\frac{22}{7}$
 S_1 = luas penampang lintang area 1 (m^2)
 S_2 = luas penampang lintang area 2 (m^2)
 l = panjang gelombang (m)
 p_t = tekanan gelombang datang (Pa)
 P_r = tekanan gelombang pantul ; *back pressure* (Pa)
 P_b = tekanan pada kasus *side branch* (Pa)

t = waktu (s)

a_1, a_2 = konstanta perubahan puncak (atau kecepatan atau tekanan) gelombang

c = kecepatan bunyi (340 m/s)

f = frekuensi (Hz)

k = bilangan gelombang

S = luas penampang lintang (m^2)

T = periode, waktu (s)

ABSTRACT

AN ANALYSIS OF BACK PRESSURE ON THE FRONT CAVITY DESIGN OF MUFFLER PSS-X1 USING THE FOUR MICROPHONES SPECTRAL DECOMPOSITION METHOD

**By
Hani Afnita Murti
M.0201005**

An analysis of back pressure on the front cavity design of Muffler PSS-X1 has been done by using the four microphones spectral decomposition method. The design consists of single perforated baffle design (SPB) and multiple perforated baffle (MPB) design.

The test is did by using a tube test tool of impedance B&K 4206 and four microphones of B&K with type 4187 (2) and type 4189 (2). Those tools are connected to B&K multi-analyzer pulse by using computer control to get data of back pressure on the front cavity design of muffler PSS-X1 at the frequency range 0 Hz – 6500 Hz. The result of research shows that configuration 6 with specific design of prototype 1, filler both cavity 1 and cavity 2 is the best work of back pressure. Design and configuration variation give great contribution on the different scores for the resulted back pressure. Filler contribution shows on the declining of back pressure score and the range of frequency of it gets wider with the low back pressure score.

Keyword : muffler, back pressure, decomposition method, four microphones, filler

INTI SARI

ANALISIS *BACK PRESSURE*

PADA RONGGA DEPAN RANCANGAN *MUFFLER PSS-XI*

DENGAN METODE DEKOMPOSISI SPEKTRAL EMPAT MIKROFON

Oleh
Hani Afrita Murti
M.0201005

Telah dilakukan analisis *back pressure* pada rongga depan rancangan *muffler PSS-XI* dengan metode dekomposisi spektral empat mikrofon. Desain terbagi menjadi dua yaitu desain *single perforated baffle* (SPB) dan desain *multiple perforated baffle* (MPB).

Pengujian dilakukan dengan perangkat uji tabung impedansi B&K 4206 dengan empat buah mikrofon B&K tipe 4187 (2 buah) dan tipe 4189 (2 buah) yang terkoneksi B&K Pulse Multi Analyzer dengan kontrol komputer untuk memperoleh data *back pressure* rongga depan rancangan *muffler PSS-XI* pada bentang frekuensi 0 Hz – 6500 Hz. Hasil pengujian menunjukkan bahwa konfigurasi 6 dengan spesifikasi desain *prototype* 1 dengan *filler* pada celah 1 dan celah 2 menunjukkan kinerja *back pressure* paling bagus. Variasi desain dan variasi konfigurasi memberikan kontribusi pada perbedaan nilai *back pressure* yang dihasilkan. Kontribusi *filler* menunjukkan pada penurunan nilai *back pressure* dan memperlebar bentang frekuensi dengan nilai *back pressure* yang rendah.

Kata kunci : *muffler*, *back pressure*, metode dekomposisi, empat mikrofon, *filler*.

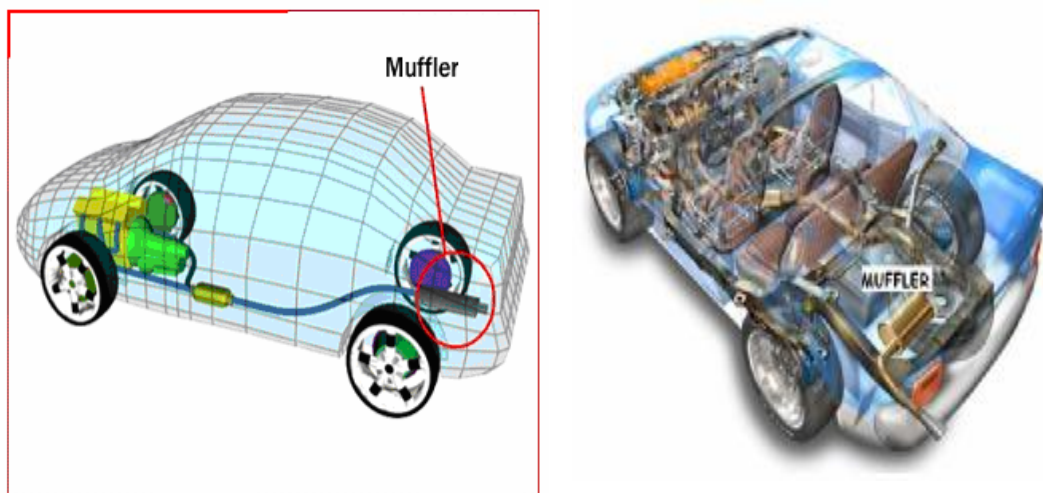
BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Penggunaan kendaraan bermotor sebagai sarana transportasi sehari-hari selain dapat meningkatkan mobilitas publik, secara bersamaan juga telah menghadirkan masalah yang sangat serius yang berkait dengan kebisingan. Bahkan 55% sumber bising berasal dari kendaraan bermotor. (May, 1998). Oleh karena itu strategi kontrol bising yang efektif menjadi sangat diperlukan.

Bentuk solusi yang paling banyak ditempuh untuk mereduksi aras bising yang diemisikan kendaraan motor ke lingkungan adalah dengan menggunakan piranti berupa *muffler* (knalpot) yang dipasang pada bagian ujung saluran pembuangan gas sisa pembakaran mesin.



gambar 1.1 pemasangan *muffler* pada kendaraan bermotor

Pada umumnya piranti tersebut terbentuk dari gabungan pipa berlubang dan rongga atau sekat yang dirancang sedemikian rupa sehingga aras bising dapat direduksi ke tingkat yang dikehendaki. Karena mekanisme peredaman yang demikian, maka mekanisme aliran fluida di dalam *muffler* sangat menentukan kinerja keseluruhan *muffler*.

Untuk dapat disebut sebagai sebuah *muffler* yang baik, maka sebuah rancangan *muffler* disamping harus memiliki kinerja akustik yang tinggi, juga disyaratkan dapat mempertinggi efisiensi pemakaian bahan bakar serta memiliki emisi polutan (gas dan partikulat) yang rendah.

Kajian yang telah dilakukan dalam penelitian ini merupakan bagian dari skema pengembangan rancangan *muffler* baru dengan kode PSS-X1 (*perforated slit-like stacking baffle – X1*) yang sedang dilaksanakan oleh dosen pembimbing utama di Grup Riset Akustik – Jurusan Fisika FMIPA UNS. PSS-X1 merupakan varian awal yang dikembangkan untuk memperoleh *muffler* dengan kinerja yang melebihi rancangan *interchangeable core muffler* (US Patent Application 20040238273), maupun *muffler* rancangan Toyoshima (US Patent Application 20040149515).

Adapun lingkup kajian yang dilaporkan dalam skripsi ini terbatas pada aspek perhitungan tekanan balik (*back pressure*) dari rancangan PSS-X1. Perhitungan *back pressure* sangat penting dilakukan karena memberikan dampak langsung pada konsumsi bahan bakar kendaraan. Semakin rendah nilai *back pressure* yang timbul maka semakin efisien pemakaian bahan bakar kendaraan.

I.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Mendapatkan konfigurasi celah terbaik dari struktur rongga depan rancangan *muffler PSS-X1* yang dapat menghasilkan *back pressure* terendah.
2. Mengetahui pengaruh pemakaian serat acak limbah *carding* rami sebagai bahan pengisi celah terhadap tingkat *back pressure* dari rancangan yang dikembangkan.

I.3 Batasan Masalah

Kajian dalam penelitian ini dibatasi pada dua kondisi sebagai berikut:

1. Pengujian kinerja dilakukan terhadap dua konfigurasi PSS-X1. Yang pertama adalah rancangan dua celah *multiple perforated baffle* (MPB) dan yang kedua adalah rancangan celah tunggal *single perforated baffle* (SPB).
2. Kajian dilakukan pada kondisi statik dalam pengertian tanpa terdapat *mean flow*.

I.4 Perumusan Masalah

Sebagaimana yang berlaku pada setiap gejala *transport*, maka sebagian energi gelombang yang mencapai bidang batas akan diteruskan, sebagian berubah menjadi panas dan selebihnya dipantulkan. Jika gelombang tersebut merambat melalui beberapa bidang batas, maka gejala serupa akan berulang.

Besar kecilnya fraksi energi gelombang yang dipantulkan sangat bergantung kepada impedansi medium dimana gelombang itu merambat.

Rancangan sekat dengan konfigurasi *baffle* berlubang dapat dipandang sebagai konfigurasi bidang batas yang analog dengan persoalan perambatan di atas.

Adapun nilai impedansi sangat berkait dengan densitas bahan atau medium dimana gelombang bunyi merambat. Berkait dengan hal tersebut, maka permasalahan yang dikaji dalam penelitian ini adalah konfigurasi celah yang terbentuk dari *baffle* berlubang serta pemanfaatan serat rami sebagai bahan pengisi.

I.5 Manfaat Penelitian

Dari sudut pandang desain, penelitian ini memberi peluang bagi diperolehnya rancangan muffler dengan nilai kebaruan (*novelty*) yang jelas terutama dari konsep *baffle* berjajar.

Adapun dari segi akademik, penelitian ini menyajikan informasi yang sangat bermanfaat untuk pengembangan *muffler* dengan *back pressure* rendah di masa depan.

I.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini terdiri dari : BAB I pendahuluan yang memuat latar belakang, tujuan penelitian, batasan masalah, perumusan masalah, manfaat penelitian dan sistematika penulisan. BAB II memuat tentang tinjauan pustaka yang berkaitan dengan judul penelitian. Materi yang dibahas meliputi gelombang bunyi, perambatan gelombang pada pipa, efek dari percabangan (*side branch*), perambatan gelombang pada medium berlapis,

muffler dan metode dekomposisi (*decomposition method*). BAB III memuat tentang metodologi yang meliputi tempat dan waktu penelitian, alat dan bahan penelitian, metode penelitian dan prosedur penelitian. BAB IV berisi tentang hasil dan pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan. BAB V memuat tentang kesimpulan dan saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II. 1 Gelombang Bunyi

Bunyi diasosiasikan dengan rasa pendengaran dan, oleh karena itu, melalui fisiologi telinga dan fisiologi otak diterjemahkan perasaan tersebut sampai pada telinga. Pengertian bunyi juga mengacu pada perasaan fisik yang merangsang telinga: yaitu, gelombang longitudinal dimana getaran merambat searah perambatan gelombang bunyi. (Douglas C. Giancoli, 1997)

Gelombang bunyi adalah gelombang mekanis longitudinal. Gelombang mekanis merupakan gelombang yang berasal dari pergeseran suatu bagian medium elastis dari kedudukan setimbangnya. Gelombang bunyi tersebut dapat dijalarakan dalam benda padat, cair dan gas. Partikel-partikel bahan yang mentransmisikan sebuah gelombang seperti ini berosilasi dalam arah penjalaran gelombang itu sendiri. (Halliday and Resnick, 1998)

Gelombang bunyi yang menumbuk suatu ruangan sebagian energinya akan dipantulkan, diserap, disebarakan, dibelokkan atau ditransmisikan pada ruang yang berdampingan, tergantung sifat akustik dindingnya. (Doelle, 1993).

Persamaan umum gelombang bunyi pada satu dimensi diberikan melauai persamaan :

$$\frac{\partial^2 j}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 j}{\partial t^2} \quad (2.1)$$

dimana c adalah kecepatan gelombang bunyi. Pada persamaan ini, j dapat mewakili kuantitas seperti amplitudo, kecepatan partikel maupun tekanan dimana

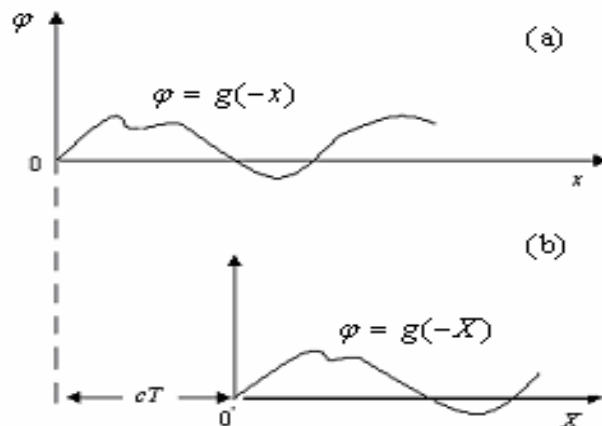
ketiga kuantitas tersebut berhubungan satu sama lain. Persamaan (2.1) diselesaikan dengan menggunakan metode pemisahan variabel :

$$j = F_1(x)F_2(t)$$

yang menunjukkan dua persamaan differensial yang terpisah. Rekombinasi solusi khusus memberikan solusi yang lebih umum dari persamaan (2.1) yang biasa ditulis sebagai

$$j = g(ct - x) + h(ct + x) \quad (2.2)$$

dimana g dan h adalah fungsi *independent* yang menjelaskan gelombang.



gambar 2.1 . Representasi gelombang $j = g(ct - x)$
 (a) gelombang pada saat $t = 0$ (b) gelombang pada saat $t = T$

Berdasarkan solusi setengah gelombang, $g(ct - x)$. Pada saat waktu tertentu $t = 0$ diperoleh $j = g(-x)$ yang ditunjukkan pada gambar 2.1 (a). Pada saat $t = T$ diperoleh $j = g(cT - x)$ dan jika variabel diubah yaitu $x = cT + X$ maka $j = g(-X)$. Bentuk yang ditandai dengan g adalah identik dan dapat ditunjukkan

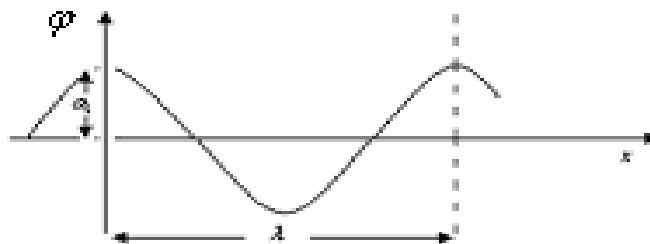
pada gambar 2.1 (b) dimana X diukur dari titik pusat baru $0'$ yang berasal dari perpindahan jarak pindah dari titik 0 begeser ke kanan sebesar cT .

Secara jelas bahwa gelombang $g(ct - x)$ mempunyai bentuk yang sudah konstan tetapi digerakkan sejauh cT pada arah sumbu x positif pada kecepatan c dan waktu T . Demikian halnya, $h(ct + x)$ menunjukkan gelombang dengan bentuk konstan yang merambat sepanjang arah sumbu x negatif juga pada kecepatan c .

Contoh paling mudah adalah gelombang harmonik, dimana bentuknya didefinisikan sebagai bentuk *sinus* atau *cosinus* yang merambat sepanjang arah sumbu x positif. Hal ini kadang ditunjukkan sebagai sebuah gelombang progresif. Solusi ini dapat ditulis, yaitu :

$$j = a_1 \cos k(ct - x) \quad (2.3)$$

dimana a_1 adalah perubahan puncak (atau kecepatan atau tekanan) dan k adalah bilangan gelombang.



gambar 2.2 bentuk gelombang $j = a_1 \cos k(ct - x)$ pada saat $t = 0$

Bentuk gelombang diilustrasikan pada gambar 2.2, gelombang berulang sendiri pada interval jarak tertentu yang dinamakan panjang gelombang λ dimana:

$$l = \frac{2p}{k} \quad (2.4)$$

Atau dapat dikatakan bentuk gelombang tersebut berulang sendiri pada interval waktu tertentu yang dinamakan periode T dimana:

$$T = \frac{2p}{kc} = \frac{l}{c} \quad (2.5)$$

Untuk frekuensi diberikan melalui persamaan :

$$f = \frac{1}{T} = \frac{c}{l} \quad (2.6)$$

atau dapat ditulis :

$$c = fl \quad (2.7)$$

Secara matematik, lebih baik menggunakan frekuensi *angular* $w = 2\pi f$ $rad \ sec^{-1}$, sehingga persamaan (2.3) dapat ditulis kembali menjadi :

$$j = a_1 \cos(\omega t - kx) \quad (2.8)$$

Persamaan (2.8) tidak dapat mendeskripsikan secara jelas tentang gelombang harmonik yang merambat pada arah sumbu x positif, karena pada waktu tertentu j mencapai nilai maksimum pada nilai tertentu dari x . Jika memilih fungsi *sinus* untuk penyelesaian j maka titik maksimum yang diperoleh akan berbeda dengan nilai amplitudo yang tetap. Secara umum dapat dicapai dengan memilih kombinasi antara *sinus* dan *cosinus*, yaitu :

$$j = a_1 \cos(\omega t - kx) + a_2 \sin(\omega t - kx) \quad (2.9)$$

Dengan pemilihan konstanta a_1 dan, a_2 yang benar maka bentuk gelombang harmonik dapat dijelaskan.

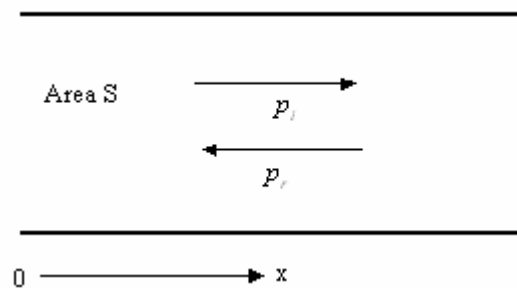
II.2 Perambatan Gelombang pada Pipa

Jika sebuah gelombang tunggal merambat dalam arah sumbu x positif sepanjang pipa dengan luas penampang lintang S , seperti ditunjukkan dalam gambar (2.1), maka impedansi akustiknya akan diberikan oleh hubungan $\frac{r_0 c}{S}$. Selanjutnya jika di dalam pipa tersebut terdapat diskontinuitas, sebagai contoh misalnya perubahan penampang lintang, maka secara umum sejumlah fraksi energi gelombang datang akan dipantulkan dan impedansi akustik dari gelombang pantul tersebut menjadi $-\frac{r_0 c}{S}$.

Tekanan dan kecepatan volume gelombang datang dan gelombang pantul diberikan oleh,

$$P_i = A e^{i(\omega t - kx)} ; U_i = \frac{P_i}{r_0 c / S} \quad (2.1)$$

$$P_r = B e^{i(\omega t - kx)} ; U_r = -\frac{P_r}{r_0 c / S} \quad (2.2)$$



Gambar 2.3 Gelombang datang dan gelombang pantul dalam sebuah pipa

Dari hubungan tersebut, maka impedansi akustik total pada sembarang titik sepanjang x diberikan oleh :

$$Z_x = \frac{P_i + P_r}{U_i + U_r} = \frac{r_0 c}{S} \frac{P_i + P_r}{P_i - P_r} \quad (2.3)$$

$$= \left(\frac{r_0 c}{S} \right) \frac{Ae^{-ikx} + Be^{-ikx}}{Ae^{-ikx} - Be^{-ikx}}$$

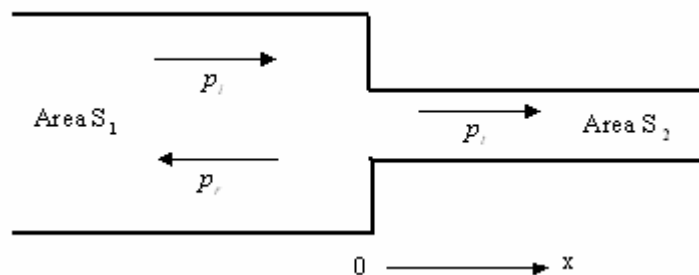
Karena adanya kontinuitas tekanan dan kecepatan volume sehingga harus berlaku pula keadaan kontinuitas untuk impedansi akustik pada sembarang titik dalam pipa. Oleh karena itu, jika pada beberapa titik, impedansi akustik diketahui mempunyai nilai tertentu, kemudian nilai Z_x diberikan melalui persamaan (2.3) juga harus mempunyai nilai yang sama. Misalkan impedansi akustik diketahui sebagai Z_0 pada saat $x = 0$, sehingga berlaku :

$$Z_0 = \frac{r_0 c}{S} \frac{A + B}{A - B} \quad (2.4)$$

atau dalam bentuk berbeda dapat dinyatakan sebagai,

$$\frac{B}{A} = \frac{Z_0 - r_0 c / S}{Z_0 + r_0 c / S} \quad (2.5)$$

Persamaan di atas juga berlaku dan dapat diaplikasikan pada kasus sambungan pipa dengan diameter yang berbeda seperti ditunjukkan dalam gambar (2.4) berikut:



Gambar 2.4 Gelombang datang dan gelombang pantul dengan perubahan penampang lintang dalam sebuah pipa

Tampak bahwa hanya terdapat gelombang tunggal p_t yang merambat di dalam pipa dengan tampang lintang S_2 , sehingga impedansi akustiknya diberikan melalui persamaan r_0c/S_2 atau

$$\begin{aligned} \frac{B}{A} &= \frac{r_0c/S_2 - r_0c/S_1}{r_0c/S_2 + r_0c/S_1} \\ &= \frac{S_1 - S_2}{S_1 + S_2} \end{aligned} \quad (2.6)$$

Selanjutnya untuk mendapatkan fraksi energi gelombang datang yang dipantulkan maupun yang ditransmisikan, dapat dihitung berdasarkan koefisien pemantulan dan koefisien transmisi menurut hubungan sebagai berikut,

$$\begin{aligned} a_r &= \frac{W_r}{W_t} = \frac{|B|^2 / 2r_0c/S_1}{|A|^2 / 2r_0c/S_1} = \left| \frac{B}{A} \right|^2 \\ &= \frac{(S_1 - S_2)^2}{(S_1 + S_2)^2} \end{aligned} \quad (2.7)$$

dimana

$$a_t = 1 - a_r = \frac{4S_1S_2}{(S_1 + S_2)^2} \quad (2.8)$$

jadi nilai a_r dan a_t hanya bergantung pada ratio $S_1 : S_2$ atau $S_2 : S_1$.

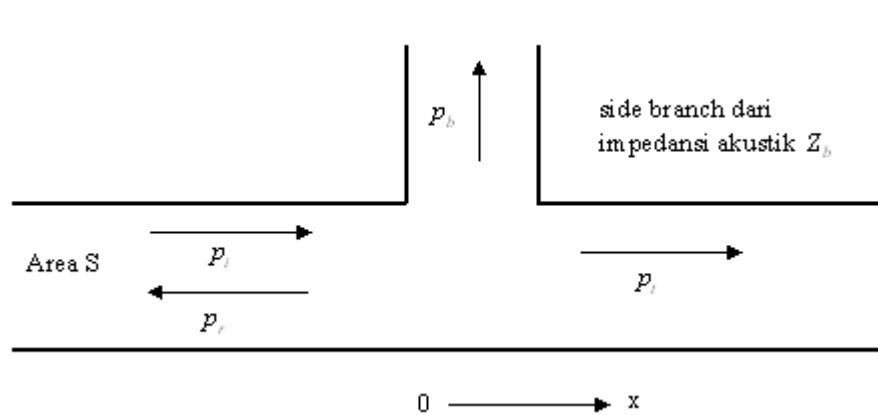
II.3 Efek dari Percabangan (*Side Branch*)

Ditinjau sebuah elemen berupa pipa bercabang seperti ditunjukkan dalam gambar (2.5). Pipa utama dengan tampang lintang S mempunyai percabangan (*side branch*) dengan impedansi akustik Z_b pada posisi $x = 0$. Pada keadaan

demikian, maka tidak terdapat fraksi gelombang yang dipantulkan pada segmen sebelah kanan cabang. Impedansi akustik pipa utama pada saat $x = 0$ diberikan oleh persamaan r_0c/S . Adapun hubungan yang berlaku $x = 0$ diberikan oleh,

$$P_i = Ae^{j\omega t} ; U_i = \frac{P_i}{r_0c/S} \quad (2.9)$$

$$P_r = Be^{j\omega t} : U_r = -\frac{P_r}{r_0c/S} \quad (2.10)$$



Gambar 2.5 Gelombang dalam pipa dengan sebuah *side branch*

$$P_t = A_2e^{j\omega t} ; U_t = \frac{P_t}{r_0c/S} \quad (2.11)$$

$$P_b = A_3e^{j\omega t} : U_b = \frac{P_b}{Z_b} \quad (2.12)$$

Selanjutnya hubungan kontinuitas yang berlaku adalah,

(1). Kontinuitas tekanan

$$P_i + P_r = P_t = P_b \quad (2.13)$$

(2). Kontinuitas kecepatan volume

$$U_c + U_r = U_t + U_b \quad (2.14)$$

Kombinasi persamaan (2.11) dan (2.12) diperoleh

$$\frac{U_c + U_r}{P_i + P_r} = \frac{U_t}{P_t} + \frac{U_b}{P_b}$$

atau

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{Z_t} + \frac{1}{Z_b} \quad (2.15)$$

dimana $Z = \frac{r_0 c}{S} \frac{A_1 + B_1}{A_1 - B_1}$ dan $Z_t = \frac{r_0 c}{S}$

Dari hubungan tersebut tampak bahwa impedansi akustik dari dua cabang menjadi satu dalam arah yang sama analogi terhadap impedansi dua rangkaian listrik yang dipasang secara paralel. Selanjutnya persamaan (2.15) dapat dengan mudah disusun kembali sehingga memberikan persamaan:

$$\frac{B_1}{A_1} = \frac{-r_0 c / 2S}{r_0 c / 2S + Z_b} \quad (2.16)$$

kemudian dari persamaan (2.14)

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{A_3}{A_1} = \frac{Z_b}{r_0 c / 2S + Z_b} \quad (2.17)$$

Pada umumnya impedansi akustik dari *side branch* berbentuk kompleks dan dapat dinyatakan sebagai,

$$Z_b = R_b + jX_b \quad (2.18)$$

sedangkan koefisien dayanya diberikan oleh persamaan berikut,

$$a_r = \left| \frac{B_1}{A_1} \right|^2 = \frac{(r_0 c / 2S)^2}{(r_0 c / 2S + R_b)^2 + X_b^2} \quad (2.19)$$

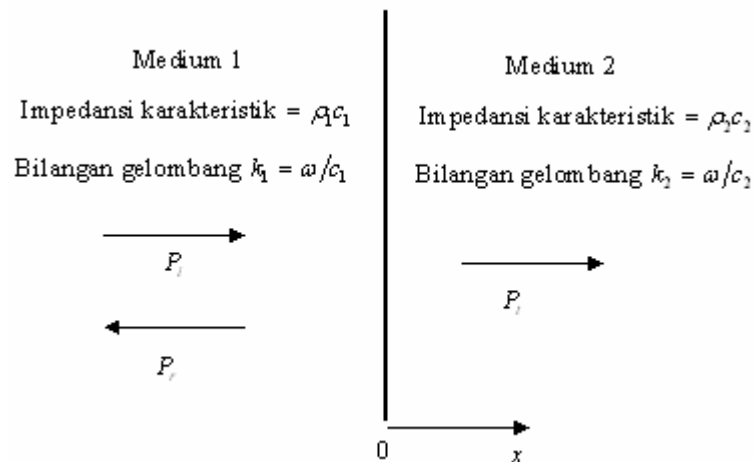
$$a_t = \left| \frac{A_2}{A_1} \right|^2 = \frac{R_b^2 + X_b^2}{(r_0 c / 2S + R_b)^2 + X_b^2} \quad (2.20)$$

$$a_b = 1 - a_r - a_t = \frac{R_b \cdot r_0 c / 2S}{(r_0 c / 2S + R_b)^2 + X_b^2} \quad (2.21)$$

Koefisien transmisi, a_t , dapat bernilai nol ketika R_b dan X_b juga bernilai nol. Di bawah keadaan ini a_b juga bernilai nol, sehingga gelombang sepenuhnya dipantulkan.

II.4 Perambatan Gelombang pada Medium Berlapis

Misalkan sebuah gelombang bunyi merambat dan mencapai antarmuka dua médium secara normal seperti ditunjukkan dalam gambar (2.4).



Gambar 2.6 gelombang pada dua layer

Sebagaimana yang berlaku dalam uraian di depan, maka ketika gelombang menumbuk antarmuka, sebagian energi gelombang datang akan dipantulkan dan sebagian lagi akan ditransmisikan. Dimisalkan bahwa gelombang datang, gelombang pantul dan gelombang yang ditransmisikan dapat dinyatakan dalam bentuk eksponensial sebagai berikut,

$$P_i = A_1 e^{j(\omega t - k_1 x)} \quad (2.22)$$

$$P_r = B_1 e^{j(\omega t + k_1 x)} \quad (2.23)$$

$$P_t = A_2 e^{j(\omega t - k_2 x)} \quad (2.24)$$

dimana A_1 , B_1 dan A_2 adalah bentuk kompleks.

Sebagaimana yang berlaku dalam perambatan pada pipa, maka kecepatan partikel dapat dinyatakan dalam bentuk,

$$u_i = \frac{P_i}{r_1 c_1} \quad (2.25)$$

$$u_r = -\frac{P_r}{r_1 c_1} \quad (2.26)$$

$$u_t = \frac{P_t}{r_2 c_2} \quad (2.27)$$

Syarat batas yang berlaku pada antarmuka adalah sebagai berikut,

1. Kontinuitas tekanan

$$(P_i + P_r)_{x=0} = (P_t)_{x=0}$$

$$\text{atau } A_1 + B_1 = A_2 \quad (2.28)$$

2. Kontinuitas kecepatan partikel

$$(u_i + u_r)_{x=0} = (u_t)_{x=0}$$

$$\text{atau } \frac{A_1 - B_1}{r_1 c_1} = \frac{A_2}{r_2 c_2} \quad (2.29)$$

Selanjutnya A_2 dapat dieliminasi dari persamaan (2.28) dan (2.29) untuk mendapatkan persamaan gelombang pantul dalam bentuk gelombang datang sebagai berikut,

$$\frac{B_1}{A_1} = \frac{r_2 c_2 - r_1 c_1}{r_2 c_2 + r_1 c_1} \quad (2.30)$$

atau B_1 dapat dieliminasi untuk memberikan persamaan gelombang yang ditransmisikan dalam bentuk gelombang datang, yaitu

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{2r_2 c_2}{r_2 c_2 + r_1 c_1} \quad (2.31)$$

sebagai alternatif, kedua syarat batas dapat dikombinasikan ke dalam satu kondisi dimana impedansi akustik spesifik kontinu pada antarmuka dan mempunyai nilai sama dengan Z_s

$$\left(\frac{P_i + P_r}{u_i + u_r} \right)_{x=0} = Z_s = \left(\frac{P_t}{u_t} \right)_{x=0}$$

$$\text{atau} \quad \frac{A_1 + B_1}{A_1 - B_1} r_1 c_1 = Z_s = r_2 c_2 \quad (2.32)$$

Hal ini memperlihatkan bahwa tidak ada gelombang yang ditransmisikan ketika A_2 telah dieliminasi, tetapi hal tersebut memberikan solusi yang berguna pada kasus yang lebih umum dari gelombang yang dipantulkan dari sebuah permukaan dengan impedansi Z_s . Persamaan (2.32) dapat diubah kembali dalam bentuk:

$$\frac{B_1}{A_1} = \frac{Z_s - r_1 c_1}{Z_s + r_1 c_1} \quad (2.33)$$

Kembali ke persamaan (2.30) dan (2.31), dapat dihitung koefisien pemantulan dan koefisien transmisi seperti berikut:

$$a_r = \frac{I_r}{I_i} = \frac{|B_1|^2 / 2r_1 c_1}{|A_1|^2 / 2r_1 c_1} = \left| \frac{B_1}{A_1} \right|^2$$

$$= \left(\frac{r_2 c_2 - r_1 c_1}{r_2 c_2 + r_1 c_1} \right)^2 \dots\dots\dots(2.34)$$

$$a_i = \frac{I_t}{I_i} = \frac{|A_2|^2 / 2 r_2 c_2}{|A_1|^2 / 2 r_1 c_1} = \frac{r_1 c_1}{r_2 c_2} \left| \frac{A_2}{A_1} \right|^2$$

$$= \frac{4 r_1 c_1 r_2 c_2}{(r_2 c_2 + r_1 c_1)^2} \quad (2.35)$$

II.5 Muffler

Muffler adalah suatu pipa yang unik dimana pipa ini menghalangi transmisi suara ketika aliran udara mengalir di dalamnya.



Gambar 2.7 absorptive muffler (engineering acoustics.pdf)

Design *muffler* yang baik memerlukan sedikitnya 3 kriteria yang harus dicukupi secara bersamaan, yaitu :

1. Kriteria Akustik (*The Acoustical Criterion*)

Merupakan ukuran yang menunjukkan kemampuan bising minimum (*The Minimum Noise Reduction*) yang diperlukan untuk sebuah *muffler* sebagai sebuah fungsi dari frekuensi.

2. Kriteria Aerodinamik (*The Aerodynamic Criterion*)

Parameter ini dikaitkan dengan nilai maksimum penurunan tekanan rata-rata (*average pressure drop*) yang diperbolehkan.

3. Kriteria Geometrik (*The Geometrical Criterion*)

Merupakan ukuran yang berkait dengan nilai maksimum yang diperbolehkan pada volume dan batasan bentuk.

Langkah pertama untuk merancang sebuah *muffler* adalah memperkirakan perilaku akustik dari *muffler* tersebut seperti parameter rugi transmisi, *insertion loss*, dan lainnya. Disamping itu perilaku mekanisnya juga perlu diperkirakan. Termasuk dalam kategori perilaku mekanis dalam adalah *back pressure* yang timbul berkait dengan rancangan internal muffler. Nilai *back pressure* yang tinggi dapat menyebabkan turunnya efisiensi mesin atau pemborosan dalam pemakaian bahan bakar, *overheating* dan dapat menyebabkan matinya semua sistem mesin (Beranek,1960).

Ditinjau dari mekanisme kerjanya, maka *muffler* dapat dibedakan menjadi 3 jenis yaitu *reactive muffler*, *absorptive muffler*, dan *combination muffler*.

1. *Reactive muffler*

Reactive muffler biasanya terdiri dari beberapa segmen pipa yang tersambung dengan sejumlah ruang. Konstruksi yang demikian menyebabkan terbentuk sejumlah antarmuka di dalam muffler yang mana masing-masing segmen di kedua sisi antar muka memiliki nilai impedansi yang berbeda. Keadaan ini menyebabkan terjadinya pemantulan yang berulang-ulang sehingga fraksi energi gelombang yang diteruskan semakin berkurang.

2. *Absorptive muffler*

Absorptive muffler terdiri atas material penyerap yang berserat dan berpori dimana dapat menurunkan level bising dengan mengubah energi bunyi menjadi

energi panas yang disebabkan adanya gesekan antara partikel gas yang berosilasi dengan material penyerap bunyi. Semakin berserat suatu material penyerap maka semakin bagus kualitas serapannya (Doelle,1993). *Absorptive muffler* biasanya mempunyai karakteristik bentang daerah reduksi suara pada frekuensi tengah dan frekuensi tinggi. *Absorptive muffler* sering digunakan untuk menurunkan masukan bising pada mesin atau tambahan *reactive muffler* untuk pengontrol bising mesin.

3. *Combination muffler*

Beberapa *muffler* mengkombinasikan unsur *reactive* dan *absorptive* untuk memperluas bentang serapan bising pada spektrumnya. *Combination muffler* juga umum digunakan untuk mereduksi bising dari mesin.

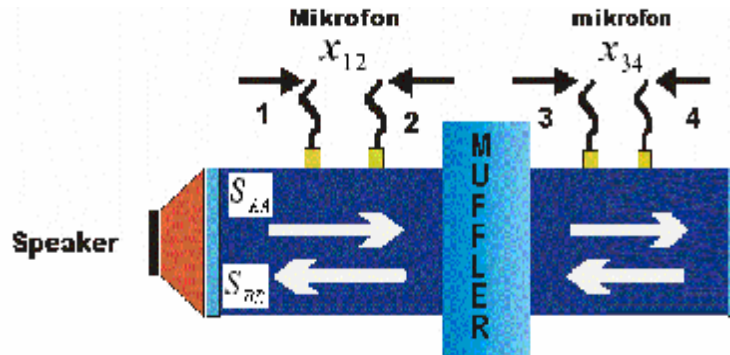
(exhaust silencers,2002)

II.6 Metode Dekomposisi (*Decomposition Method*)

Metode ini didasarkan pada teori dekomposisi yang biasa digunakan untuk mengukur perilaku elemen akustik dalam pipa seperti koefisien serapan dan impedansi pada permukaan material. Teori dekomposisi ini berfungsi untuk memisahkan gelombang datang dengan gelombang refleksi. Setelah gelombang dipisahkan, energi bunyi dari gelombang datang dapat ditentukan (Seybert.A.F, 2001).

Sumber bunyi yang digunakan dalam pengujian dengan metoda dekomposisi dapat berbentuk *pure tone*, *pseudorandom* atau pun bunyi random. Adapun ekstraksi komponen gelombang dilakukan dengan menggunakan empat buah

mikrofon yang ditempatkan masing-masing di depan dan di belakang sampel seperti ditunjukkan dalam gambar (2.8).



Gambar 2.8 set up teori dekomposisi

Pemakaian sensor ganda seperti yang ditunjukkan dalam gambar (2.8) memungkinkan untuk melakukan analisis spektral baik *auto spectrum* maupun *cross spectrum* dari sinyal yang diindera oleh setiap sensor. Dengan pendekatan tersebut, maka *auto spectrum* untuk gelombang datang adalah (Seybert, 2001),

$$S_{AA} = \frac{S_{11} + S_{22} - 2C_{12} \cos kx_{12} + 2Q_{12} \sin kx_{12}}{4 \sin^2 kx_{12}} \quad (2.36)$$

Selanjutnya tekanan bunyi yang datang dapat diperoleh dengan hubungan

$$P_i = \sqrt{S_{AA}} \quad (2.38)$$

Adapun *auto spectrum* gelombang pantul adalah

$$S_{BB} = \frac{S_{11} + S_{22} - 2C_{12} \cos kx_{12} - 2Q_{12} \sin kx_{12}}{4 \sin^2 kx_{12}} \quad (2.39)$$

Dengan persamaan (2.39) selanjutnya dapat diperoleh nilai untuk tekanan gelombang yang refleksikan yaitu :

$$P_r = \sqrt{S_{BB}} \quad (2.40)$$

dimana adalah S_{11} dan S_{22} berturut-turut *auto spectrum* dari tekanan akustik total pada titik 1 dan 2. Sedangkan C_{12} dan Q_{12} adalah bagian *real* dan bagian *imaginer* dari *cross spectrum* antara titik 1 dan 2, k adalah bilangan gelombang dan x_{12} adalah jarak antar dua mikrofon. Nilai P_r dalam persamaan (2.40) merupakan nilai *back pressure* yang ditimbulkan oleh *muffler* yang dikaji.

Energi bunyi (W) dari masing-masing gelombang dapat diubah ke dalam bentuk amplitudo tekanan bunyi gelombang datang (P_i) dan amplitudo gelombang bunyi yang ditransmisikan (P_r) yaitu sebagai berikut :

$$W_i = \frac{P_i^2}{rc} S_i \quad \text{dan} \quad W_r = \frac{P_r^2}{rc} S_0 \quad (2.41)$$

dimana r adalah kerapatan, c adalah kecepatan bunyi di udara, S_i adalah diameter dalam (*inlet*) *muffler* dan S_0 adalah diameter luar (*outlet*) *muffler*.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Akustik dan Geofisika Sub Laboratorium Fisika, Laboratorium Pusat MIPA Universitas Sebelas Maret Surakarta. Mulai bulan Januari sampai Maret 2006

III. 2. Alat dan Bahan Penelitian

Prototipe yang dikaji dalam peneletian ini merupakan dua desain PSS-X1 yang dibuat dengan spesifikasi seperti disajikan dalam tabel (3.1). Adapun perangkat uji yang digunakan adalah tabung impedansi B&K 4206 dengan empat buah mikrofon B&K tipe 4187 (2 buah) dan tipe 4189 (2 buah) yang terkoneksi ke B&K Pulse Multi Analyzer dengan kontrol komputer. Variasi konfigurasi model saat pengujian disajikan dalam tabel (3.2).

Tabel 3.1 Spesifikasi prototype PSS-X1

Segmen	Spesifikasi	
	Desain 1 (SPB)	Desain 2 (MPB)
Pipa utama	- pipa pvc *depan : diameter 32.08 mm panjang 41.58 mm *belakang : diameter 42.32 mm panjang 34.78 mm *tengah sebagai celah dengan lubang berdiameter 7 mm	-pipa pvc *depan : diameter 22.61 mm panjang 20 mm *tengah : diameter 30.86 mm panjang 41 mm *belakang : diameter 37.86 mm panjang 47 mm -semua bagian pipa dilubangi dengan diameter 0.5 mm

<i>Baffle</i>	<p>- bahan kayu</p> <p>-2 baffle</p> <p>* baffle 1: tebal 10.29 mm variasi 2 lubang - diameter 3.5 mm - diameter 6.5 mm</p> <p>* baffle 2 : tebal 10.9 mm tidak berlubang</p>	<p>- bahan kayu</p> <p>-3 baffle</p> <p>* baffle 1: tebal 20.11 mm - variasi 2 lubang bagian depan - variasi 1 lubang bagian samping</p> <p>* baffle 2: tebal 20.11 mm variasi 2 lubang -diameter 0.5 mm -diameter 0.2 mm</p> <p>* baffle 3: tebal 20.11 mm variasi 1 lubang -diameter 0.03 mm</p>
<i>filler</i>	serat acak limbah carding rami	serat acak limbah carding rami

Tabel 3.2 Konfigurasi pengujian

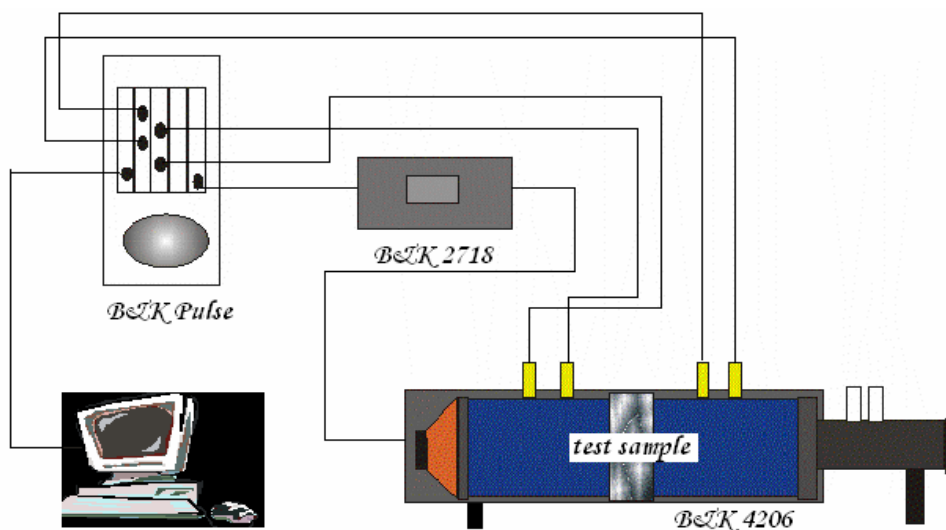
Nama konfigurasi	Spesifikasi
Konfigurasi 1	Desain SPB, tanpa <i>filler</i>
Konfigurasi 2	Desain SPB, dengan <i>filler</i>
Konfigurasi 3	Desain MPB, tanpa <i>filler</i>
Konfigurasi 4	Desain MPB, dengan <i>filler</i> pada celah 1
Konfigurasi 5	Desain MPB, dengan <i>filler</i> pada celah 2
Konfigurasi 6	Desain MPB, dengan <i>filler</i> pada celah 1 dan celah 2

Konfigurasi 7	Desain <i>reverse</i> MPB,dengan <i>filler</i> pada celah 1 dan celah 2
Konfigurasi 8	Desain <i>reverse</i> MPB, dengan <i>filler</i> pada celah 1
Konfigurasi 9	Desain <i>reverse</i> MPB, dengan <i>filler</i> pada celah 2
Konfigurasi 10	Desain <i>reverse</i> MPB,tanpa <i>filler</i>

III.3 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan sepenuhnya di laboratorium pusat FMIPA UNS dengan prosedur pengujian yang dikembangkan berdasarkan prinsip dekomposisi spektral empat mikrofon. Set up pengujian disajikan dalam gambar (3.1).

Gelombang bunyi random (random noise) yang dibangkitkan dengan generator fungsi B&K 3107 yang terletak pada salah satu slot *front end* B&K PULSE tipe 2825 akan diperkuat oleh amplifiser B&K tipe 2718 dan dihubungkan dengan sebuah speaker pada salah satu ujung tabung impedansi B&K 4206. Gelombang ini kemudian dilewatkan pada model yang diuji.



Gambar 3. 1 Set up eksperimen metode dekomposisi empat mikrofon

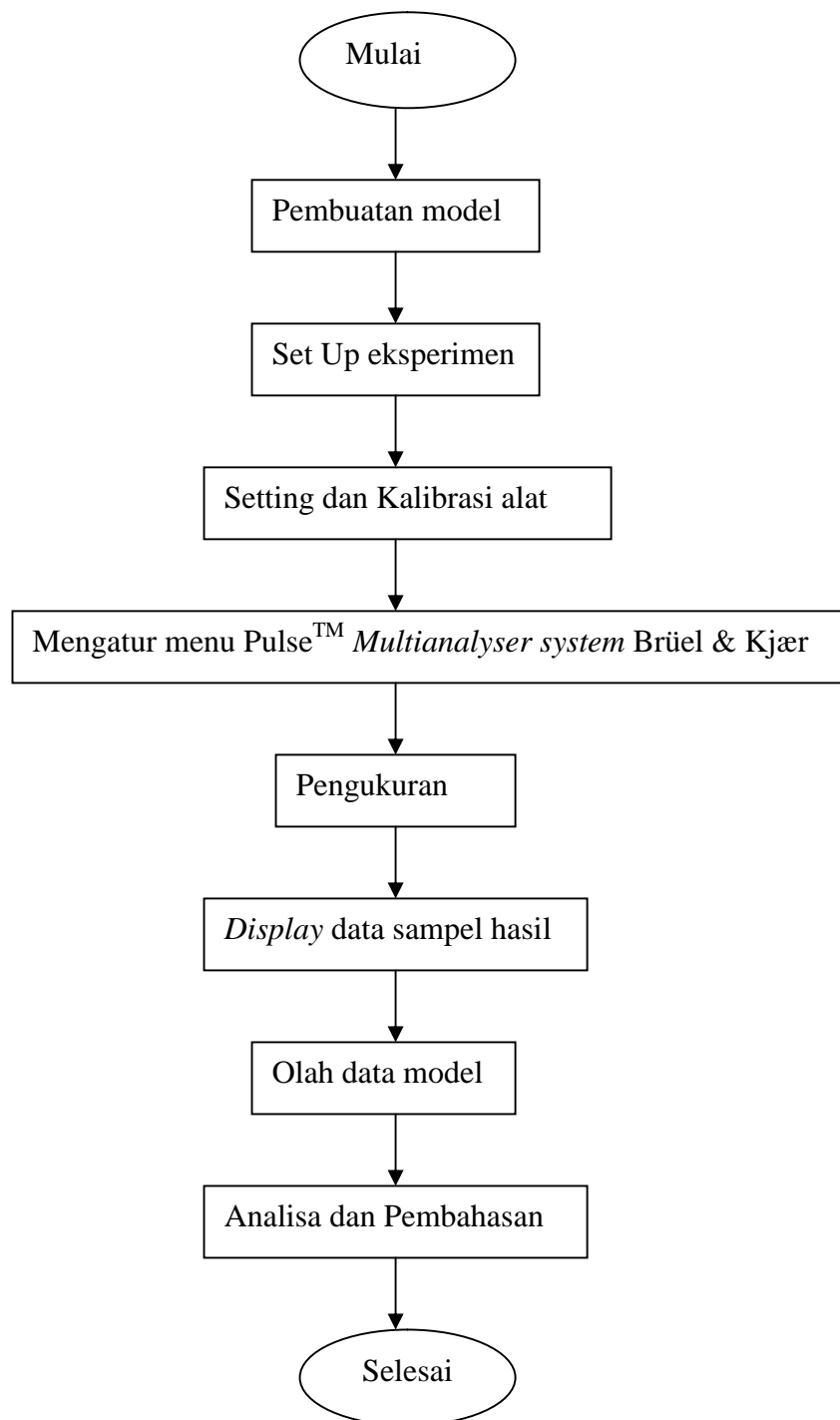
Selanjutnya empat buah mikrofon B&K tipe 4187 dan tipe 4189 yang masing-masing terletak di depan dan di belakang model yang diuji akan menangkap semua *amplitude* dan fase gelombang yang merambat di kedua segmen tabung impedansi. Data tersebut selanjutnya diproses dan diolah secara spektral dengan menggunakan Pulse Multi Analyzer yang terkoneksi dengan komputer. Berdasarkan hasil perhitungan *auto spectrum* dan *cross spectrum* yang diindra oleh keempat mikrofon, maka selanjutnya *back pressure* dapat dihitung berdasarkan persamaan (2.40).

III.4 Prosedur Penelitian

Hasil pengujian sampel berupa data *auto spectrum* mikrofon 1, *auto spectrum* mikrofon 2, bagian riil *cross spectrum* 1 & 2, bagian imajiner *cross spectrum* 1 & 2, *auto spectrum* dari mikrofon 3, *auto spectrum* dari mikrofon 4, bagian riil *cross spectrum* 3 & 4, bagian imajiner *cross spectrum* 3 & 4. Dari data tersebut kemudian dilakukan olah data dengan *Microsoft Exel* untuk mendapatkan besarnya nilai *back pressure*.

Seluruh hasil eksperimen kemudian dianalisa dengan pendekatan spektral dimana hasil disajikan dalam bentuk grafik hubungan antara nilai *back pressure* (P_r) dalam satuan *Pascal* (Pa) dan frekuensi (f) dengan satuan *Hertz* (Hz)

Prosedur eksperimen dapat disajikan dalam bentuk diagram prosedur eksperimen seperti gambar 3.2 dibawah ini:



Gambar 3.5 Diagram prosedur penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Rongga Depan Rancangan *Muffler PSS-XI*

Rongga depan rancangan *muffler PSS-XI* adalah desain yang diuji pada penelitian ini. Desain ini terbagi menjadi dua yaitu desain *single perforated baffle* (SPB) dan desain *multiple perforated baffle* (MPB). Spesifikasi masing-masing desain dikemukakan pada bab III.2 tabel 3.1. Variasi yang digunakan adalah variasi konfigurasi pada struktur desainnya. Ada 10 macam konfigurasi berdasarkan variasi diatas dengan spesifikasi tersaji pada bab III.2 tabel 3.2. Hasil *back pressure* akan dibandingkan pada masing-masing konfigurasi sehingga dapat diketahui konfigurasi penyusunan struktur internal rongga depan rancangan *muffler PSS-XI* yang mempunyai kinerja *back pressure* paling baik.

IV.2 Pengujian Rongga Depan Rancangan *Muffler PSS-XI*

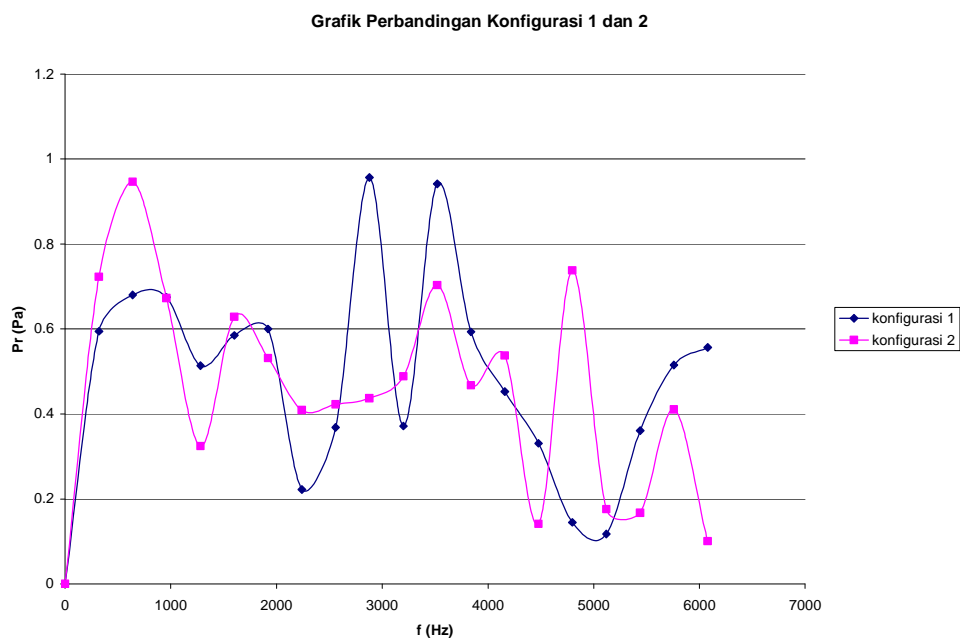
Pengujian dilakukan dengan metode dekomposisi spektral 4 mikrofon.. Metode tes meliputi penggunaan tabung impedansi 4 mikrofon dan sistem analisis frekuensi digital. Penggunaan 4 mikrofon pada penelitian ini digunakan sebagai penyempurnaan kelemahan 3 mikrofon, dimana pada 4 mikrofon tidak perlu digunakan *anechoic termination*. Sesuai teori yang dikemukakan oleh Seybert bahwa sangat sulit menciptakan suatu *anechoic termination* yang ideal yang dapat dibentuk dari penggunaan pipa panjang atau material dengan daya absorpsi tinggi padahal *anechoic termination* merupakan salah satu bagian yang penting untuk

mereduksi bising pada frekuensi rendah. Perhitungan *back pressure* diperoleh dari data percobaan yang diolah melalui program *microsoft excell* dengan perumusan yaitu $P_r = \sqrt{S_{BB}}$ dimana P_r adalah nilai *back pressure*.

IV.3 Analisis Hasil Pengujian

Hasil yang diperoleh dari pengujian rongga depan rancangan *muffler PSS-XI* ini disajikan dalam bentuk grafik hubungan antara *back pressure* (P_r) dalam satuan *Pascal* (Pa) dan frekuensi (f) dengan satuan *Hertz* (Hz). Analisis yang digunakan yaitu analisis pendekatan spektral.

IV.3.1 Perbandingan konfigurasi 1 dan konfigurasi 2

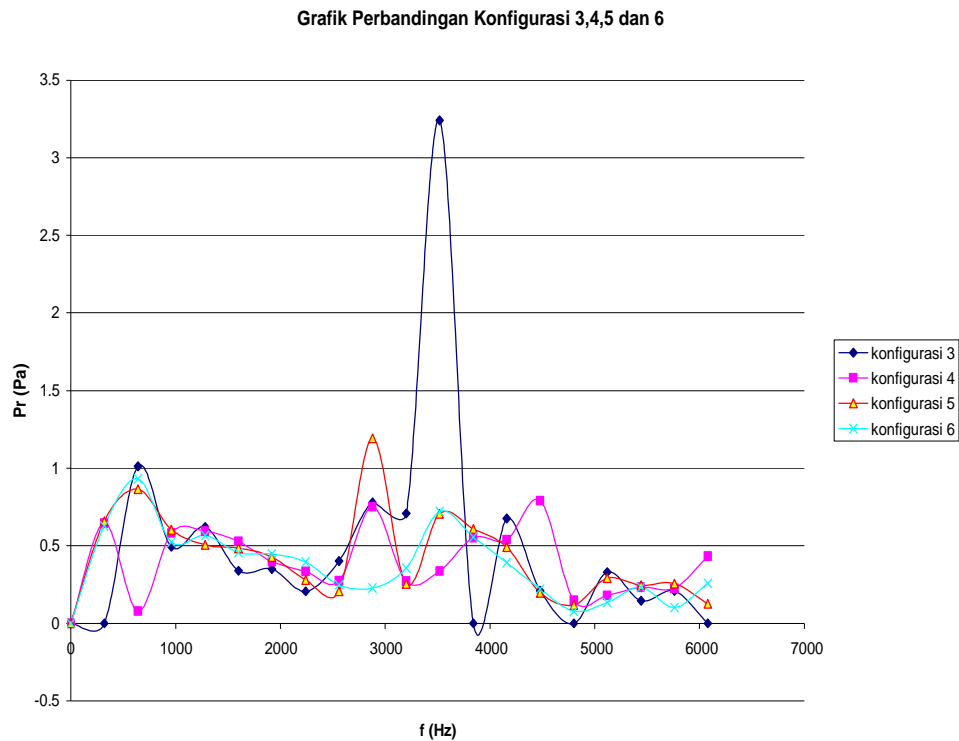


gambar 4.1 Grafik *overlay* konfigurasi 1 dan konfigurasi 2

Dibandingkan hasil antara konfigurasi 1 dan konfigurasi 2 dimana perbedaan hanya pada pemberian *filler* dan tidak untuk desain SPB. Untuk

frekuensi rendah, hasil *back pressure* menunjukkan kinerja bagus pada konfigurasi 1 dimana pada rentang frekuensi 0 Hz - 1000 Hz mempunyai nilai optimum 0.680 Pa -0.700 Pa dan nilai minimum 0.595 Pa pada frekuensi 320 Hz, sedangkan pada konfigurasi 2 mempunyai nilai optimum 1.078 Pa yaitu pada frekuensi 640 Hz dan nilai minimum 0.581 Pa pada frekuensi 960 Hz. Pada rentang frekuensi 2000 Hz -4000 Hz menunjukkan bahwa konfigurasi 2 mempunyai nilai *back pressure* yang lebih baik jika dibandingkan konfigurasi 1, pada rentang frekuensi tersebut untuk konfigurasi 1 mengalami kenaikan nilai *back pressure* dengan nilai optimum 0.957 Pa yaitu pada frekuensi 2880 Hz sedangkan konfigurasi 2 mengalami penurunan nilai *back pressure* dengan nilai optimum 0.751 Pa pada frekuensi 2880 Hz. Untuk frekuensi tinggi lebih dari 4000 Hz ternyata hasil *back pressure* untuk konfigurasi 2 juga mempunyai tingkat lebih baik daripada konfigurasi 1. Nilai minimum untuk kedua konfigurasi ternyata didapatkan pada frekuensi tinggi, dimana konfigurasi 2 mempunyai nilai minimum 0.100 Pa pada frekuensi 6080 Hz, lebih baik jika dibandingkan dengan konfigurasi 1 yang mempunyai nilai minimum 0.118 Pa pada frekuensi 5120 Hz. Penambahan *filler* memberikan pengaruh yaitu penurunan nilai *back pressure* setelah frekuensi sekitar 1000 Hz dengan grafik yang mempunyai *bandwidth* yang lebar pada nilai *back pressure* rendah. Penurunan nilai *back pressure* terjadi pada frekuensi diatas 1000 Hz atau pada frekuensi tinggi. Hasil yang didapatkan bahwa konfigurasi 2 mempunyai kinerja *back pressure* lebih bagus dibandingkan dengan konfigurasi 1, karena mempunyai *bandwidth* yang lebar dengan nilai *back pressure* yang rendah.

IV.3.2 Perbandingan konfigurasi 3, konfigurasi 4, konfigurasi 5 dan konfigurasi 6



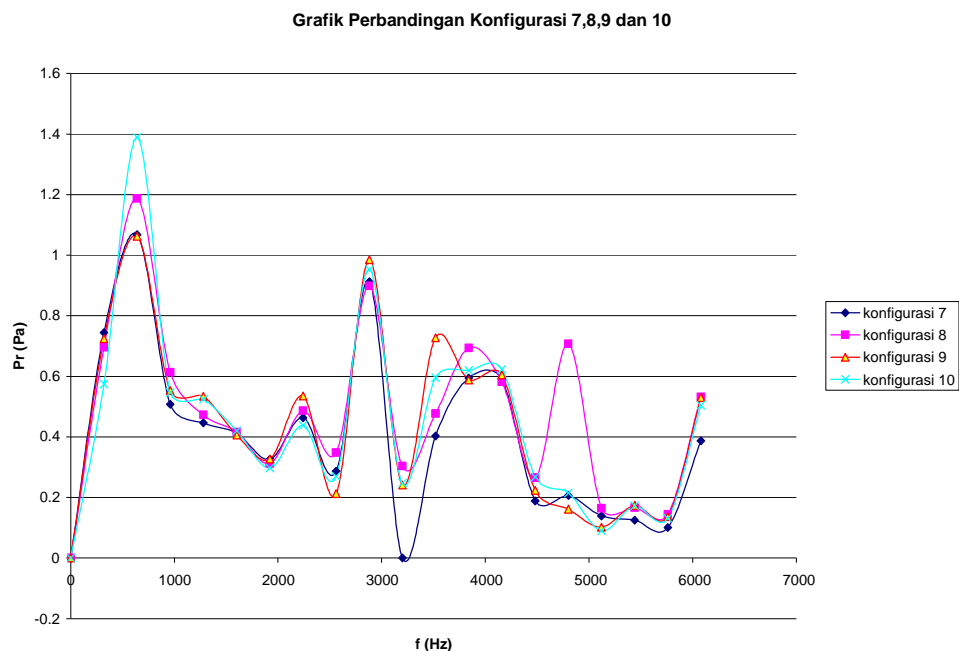
gambar 4.2 Grafik overlay konfigurasi 3, konfigurasi 4, konfigurasi 5 dan konfigurasi 6

Dibandingkan hasil konfigurasi 3, konfigurasi 4, konfigurasi 5 dan konfigurasi 6 dimana perbedaan terletak pada tidak ada *filler* dan pemberian *filler* pada celah untuk desain MPB. Untuk frekuensi rendah, hasil *back pressure* menunjukkan kinerja bagus pada konfigurasi 5 dimana pada rentang frekuensi 0 Hz - 1000 Hz mempunyai nilai optimum 0.864 Pa pada frekuensi 640 Hz bila dibandingkan pada konfigurasi lainnya dimana pada frekuensi 640 Hz mempunyai nilai optimum yaitu 1.012 Pa untuk konfigurasi 3, 1.079 Pa untuk konfigurasi 4 dan 0.932 Pa untuk konfigurasi 6. Pada rentang frekuensi 2000 Hz - 4000 Hz

menunjukkan bahwa konfigurasi 3 mempunyai nilai *back pressure* yang melonjak tinggi yaitu pada frekuensi 3520 Hz dengan nilai *back pressure* sebesar 3.240 Pa, sedangkan untuk konfigurasi lain mempunyai masing-masing *point* untuk nilai optimum yaitu (2880 Hz ; 0.751 Pa) untuk konfigurasi 4, (2880 Hz ; 1.193 Pa) untuk konfigurasi 5 dan (2880 Hz ; 0.727 Pa) untuk konfigurasi 6. Nilai minimum pada frekuensi 2000 Hz - 4000 Hz menunjukkan bahwa konfigurasi 3 juga yang mempunyai nilai minimum terendah yaitu 0 Pa pada frekuensi 3840 Hz, akan tetapi pada konfigurasi 3 terdapat nilai minus. Hal ini disebabkan pada bentang frekuensi tersebut terdapat bunyi yang masuk melewati celah yang terbentuk antara struktur desain dengan dinding tabung impedansi dimana hal ini dapat menimbulkan sumber bunyi baru yang akan membentuk gelombang dan akan beresonansi dengan gelombang bunyi yang sudah ada. Untuk nilai minimum pada konfigurasi lain yaitu (3200 Hz ; 0.270 Pa) untuk konfigurasi 4, (2560 Hz ; 0.286 Pa) untuk konfigurasi 5 dan (2560 Hz ; 0.247 Pa) untuk konfigurasi 6. Untuk frekuensi tinggi lebih dari 4000 Hz ternyata hasil rentang nilai *back pressure* rendah pada masing-masing konfigurasi yaitu 0 Pa -0.7 Pa untuk konfigurasi 3, 0.1 Pa - 0.8 Pa untuk konfigurasi 4, 0.1 Pa - 0.6 Pa, untuk konfigurasi 5, 0.07 Pa - 0.5 Pa untuk konfigurasi 6. Sehingga pada frekuensi rendah yang mempunyai kinerja *back pressure* paling baik adalah konfigurasi 5, dan untuk frekuensi lebih dari 1000 Hz didapatkan bahwa konfigurasi 6 mempunyai kecenderungan kinerja *back pressure* yang paling bagus daripada konfigurasi lain dengan nilai minimum yang didapatkan pada frekuensi tinggi sebesar 0.118 Pa, pada frekuensi rendah konfigurasi 6 juga mempunyai kinerja *back pressure* yang bagus, selain itu

mempunyai *bandwidth* yang lebar. Sehingga dapat disimpulkan bahwa konfigurasi 6 mempunyai kinerja *back pressure* yang paling bagus dari konfigurasi lain.

IV.3.3 Perbandingan konfigurasi 7, konfigurasi 8, konfigurasi 9 dan konfigurasi 10



gambar 4.3 Grafik *overlay* konfigurasi 7, konfigurasi 8, konfigurasi 9 dan konfigurasi 10

Dibandingkan hasil konfigurasi 7, konfigurasi 8, konfigurasi 9 dan konfigurasi 10 dimana perbedaan terletak pada tidak ada *filler* dan pemberian *filler* pada celah untuk *reverse* MPB. Untuk frekuensi rendah, hasil *back pressure* menunjukkan kinerja bagus pada konfigurasi 9 dimana pada rentang frekuensi 0 Hz - 1000 Hz mempunyai nilai optimum 1.062 Pa pada frekuensi 640 Hz bila dibandingkan pada konfigurasi lainnya dimana pada frekuensi 640 Hz mempunyai nilai optimum yaitu 1.068 Pa untuk konfigurasi 7, 1.187 Pa untuk konfigurasi 8 dan 1.389 Pa untuk konfigurasi 10. Pada rentang frekuensi 2000 Hz - 4000 Hz

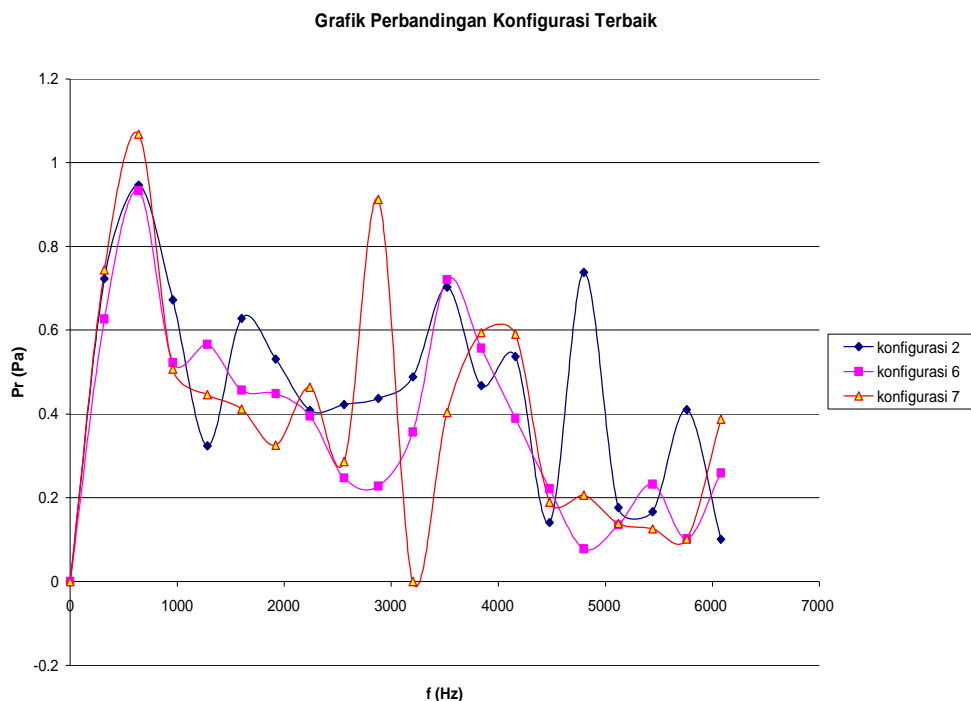
menunjukkan bahwa konfigurasi 9 mempunyai nilai *back pressure* yang melonjak tinggi yaitu pada frekuensi 2880 Hz dengan nilai *back pressure* sebesar 0.985 Pa, sedangkan untuk konfigurasi lain mempunyai masing-masing *point* untuk nilai optimum yaitu (2880 Hz ; 0.912 Pa) untuk konfigurasi 7, (2880 Hz ; 0.899 Pa) untuk konfigurasi 8 dan (2880 Hz ; 0.952 Pa) untuk konfigurasi 10. Nilai minimum pada frekuensi 2000 Hz - 4000 Hz menunjukkan bahwa konfigurasi 7 juga yang mempunyai nilai minimum terendah yaitu 0 Pa pada frekuensi 3200 Hz. Tetapi setelah frekuensi 3200 Hz terdapat nilai minus dengan bentang frekuensi yang sempit, hal ini disebabkan pada bentang frekuensi tersebut terdapat bunyi yang masuk melewati celah yang terbentuk antara struktur desain dengan dinding tabung impedansi dimana hal ini dapat menimbulkan sumber bunyi baru yang akan membentuk gelombang dan akan beresonansi dengan gelombang bunyi yang sudah ada. Untuk frekuensi tinggi lebih dari 4000 Hz ternyata hasil rentang nilai *back pressure* rendah pada masing-masing konfigurasi yaitu 0.10 Pa - 0.12 Pa untuk konfigurasi 7, 0.14 Pa - 0.16 Pa untuk konfigurasi 8, 0.102 Pa, untuk konfigurasi 9, 0.12 Pa untuk konfigurasi 10. konfigurasi 7 mempunyai kinerja *back pressure* yang paling bagus dan mempunyai *bandwidth* yang lebar daripada konfigurasi lain dimana penambahan *filler* diberikan pada kedua celah.

IV.4 Pembahasan

IV.4.1 Konfigurasi dengan Kinerja *Back Pressure* Terbaik

Pada desain SPB, konfigurasi terbaik yang didapatkan adalah konfigurasi 2. Pada desain MPB, konfigurasi terbaik adalah konfigurasi 6 dan untuk *reverse*

MPB yaitu konfigurasi 7. Ketiga konfigurasi tersebut mempunyai kinerja *back pressure* paling baik dimana *filler* ditempatkan pada semua celah.. Untuk desain MPB dimulai dari pipa berlubang dari diameter kecil ke besar dan sebaliknya untuk desain *reverse* MPB atau *baffle* pertama pada desain MPB menjadi *baffle* ketiga untuk *reverse* MPB.



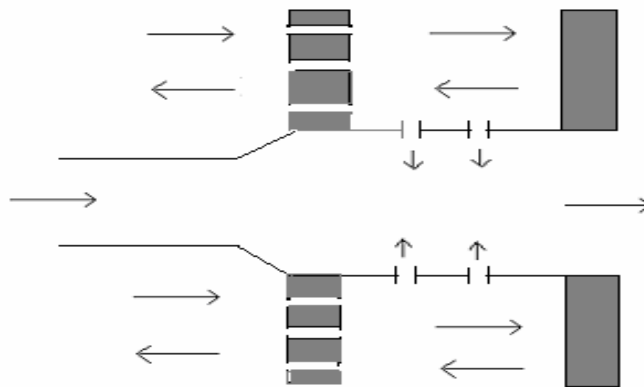
Gambar 4.4 Grafik perbandingan konfigurasi terbaik

Ditinjau dari gambar 4.4 diatas, ternyata konfigurasi terbaik yang didapatkan yaitu konfigurasi 6 dimana spesifikasinya desain MPB dengan *filler* yang ditempatkan pada semua celah yaitu celah 1 dan celah 2. konfigurasi 6 mempunyai grafik dengan *bandwidth* yang cukup lebar pada bentang frekuensi tertentu dengan nilai *back pressure* yang rendah dan cukup konstan nilainya (tidak terdapat banyak *peak*).

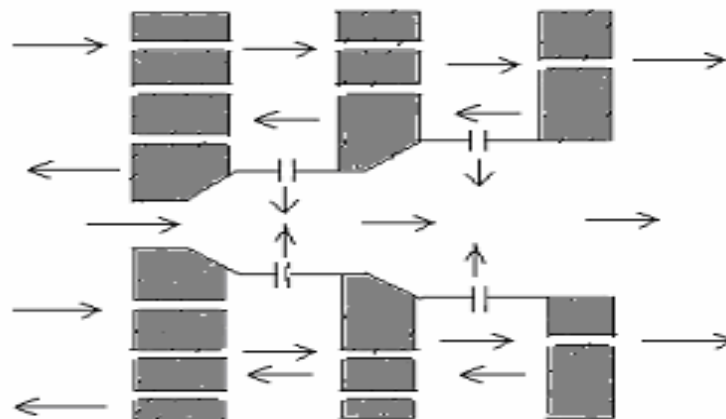
IV.4.2 Analisa Kontribusi Struktur Rongga Depan Rancangan *Muffler PSS-XI*

XI

Skema dari dua desain pada struktur rongga depan rancangan *muffler PSS-XI* adalah sebagai berikut :



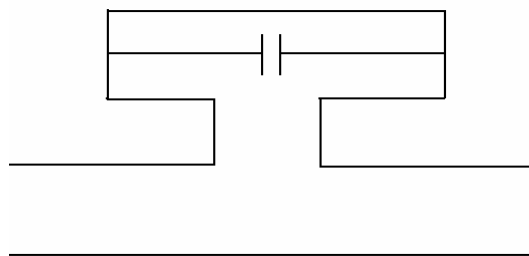
Gambar 4.5 Skema Desain SPB



Gambar 4.6 Skema Desain MPB

Kedua desain di atas mempunyai struktur berbeda yaitu berupa variasi *baffle*, ukuran dan jumlah lubang pada *baffle*, juga diameter pipa berlubang.

Adanya perbedaan ini memberikan kontribusi sendiri terhadap kinerja serapan bising dimana dapat diamati dari parameter *back pressure*. Pada desain SPB mempunyai celah tunggal dengan *baffle* pertama terdapat lubang dan *baffle* kedua tanpa lubang sedangkan desain MPB mempunyai celah ganda dengan ketiga *baffle*nya berlubang. Pemasangan *baffle* ini memberikan kontribusi yang cukup signifikan terhadap nilai *back pressure* dimana nilai *back pressure* cenderung mempunyai nilai rendah pada pemasangan *baffle* berlubang, hal ini dapat dilihat pada grafik perbandingan model terbaik (gambar 4.4). Pada desain SPB , bagian *front screen* (*baffle* pertama) mempunyai lubang dengan ukuran diameter lubang yang sama dimana *baffle* kedua tidak berlubang dengan celah tunggal yang berlubang. Sedangkan desain MPB mempunyai variasi ukuran dan jumlah lubang pada ketiga *baffle*nya dengan celah ganda yang berlubang. Adanya variasi ini mempengaruhi nilai *back pressure* yang didapat, dengan adanya lubang akan memberikan kontribusi pada disipasi energi bunyi. Jika disipasi energi bunyi yang melewati struktur desain besar maka energi bunyi yang direfleksikan menjadi kecil dan nilai *back pressure* akan rendah sehingga struktur desain dikatakan efektif dalam mereduksi bising.



Gambar 4.7 Skema resonator *Helmholtz*

Pipa berlubang pada kedua desain juga mempunyai diameter yang berbeda, dimana terdapat perubahan ukuran pipa atau perubahan penampang lintang pada pemasangan *baffle* berjajar. Hal ini akan memberikan kontribusi terutama pada nilai koefisien refleksi maupun koefisien transmisi yang besarnya tergantung pada perbandingan luas penampang lintang sesuai persamaan (2.8). Adanya pemasangan *baffle* berjajar akan membentuk celah yang dapat dianggap sebagai sebuah resonator helmholtz dan lubang pada pipa yang memiliki ketebalan tertentu sebagai leher resonator. Dalam kasus ini terdapat efek *side branch* (efek percabangan) dimana pada keadaan demikian maka tidak terdapat fraksi gelombang yang dipantulkan pada segmen sebelah kanan cabang, seperti pada gambar (2.3) sehingga dapat mempengaruhi nilai *back pressure* cenderung menurun. Resonator *helmholtz* memberikan kontribusi yaitu menyerap energi bunyi maksimum pada daerah pita frekuensi rendah yang sempit (Doelle, 1993) sehingga hanya memberikan kontribusi lebih kepada penyerapan dimana tidak memperlebar bentang frekuensi secara signifikan.

IV.4.2 Analisa Kontribusi *Filler*

Kontribusi *filler* berupa serat acak limbah carding rami yang digunakan untuk bahan pengisi celah adalah sebagai material absorpsi dimana dapat menyerap energi bunyi dan mengubahnya menjadi energi panas sehingga menurunkan intensitas pantulan gelombang dimana dengan penurunan ini maka nilai *back pressure* menjadi rendah. Pada umumnya material penyerap bunyi bekerja secara efektif pada frekuensi tinggi namun tidak memiliki kinerja baik pada bentang frekuensi rendah Hal ini dapat dilihat pada analisis grafik dimana

dengan adanya penambahan *filler* maka nilai *back pressure* cenderung menurun dan grafik mempunyai *bandwidth* yang lebar pada bentang frekuensi tertentu dengan nilai *back pressure* yang rendah bila dibandingkan tanpa *filler*. Kerapatan *filler* juga mempengaruhi besarnya nilai *back pressure*. Semakin besar kerapatan *filler* maka energi energi bunyi yang terserap oleh *filler* akan semakin besar sehingga energi bunyi yang dipantulkan akan kecil dan nilai *back pressure* akan menjadi rendah. Pengaruh kerapatan ini dapat dilihat melalui persamaan (2.41)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat diambil kesimpulan:

1. Konfigurasi model yang mempunyai kinerja *back pressure* paling baik yaitu konfigurasi 6 dengan spesifikasi desain MPB dengan *filler* pada celah 1 dan celah 2 dimana didapatkan nilai *back pressure* yang rendah dengan bentang frekuensi yang lebar.
2. Adanya *filler* memberikan kontribusi sebagai material absorpsi yang dapat mereduksi bising sekaligus menurunkan nilai *back pressure*. Begitu halnya dengan variasi kedua desain yang meliputi variasi struktur *baffle* dan struktur pipa berlubang.

V.2 Saran

Penelitian selanjutnya diharapkan dapat memperbaiki rancangan muffler dengan variasi desain ataupun penambahan variasi lain seperti kerapatan *filler* juga dengan penggunaan *mean flow*.