

REKAYASA VIBRASI

SISTEM PEREDAM GETARAN

Erna Kusuma Wati

Rekayasa vibrasi Sistem Peredam Getaran

Erna Kusuma Wati

LP-UNAS

Rekayasa vibrasi Sistem Peredam Getaran

Oleh: Erna Kusuma Wati

Hak Cipta© 2020 pada penulis

Editor : Hari Hadi
Penyunting : Fitri Rahmah
Desain Cover : Rudi Ristanto

Hak Cipta dilindungi Undang-undang.
Dilarang Memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanis, termasuk memfotocopy, merekam atau dengan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin dari penulis.

ISBN : 9 786237 376750

Penerbit : LP_UNAS

Jl.Sawo Manila, Pejaten Pasar Minggu, Jakarta Selatan

Telp. 021-78067000 (Hunting) ext.172

Faks. 021-7802718

Email : bee_bers@yahoo.com

ISBN 978-623-7376-75-0



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT sehingga buku yang berjudul “Rekayasa Vibrasi: Sistem Peredam Getaran ” telah selesai disusun. Buku ini disusun agar dapat membantu para mahasiswa untuk lebih memahami penerapan ilmu pengolahan sinyal dalam beberapa kasus di lapangan.

Penulis pun menyadari jika didalam penyusunan buku ini mempunyai kekurangan, namun penulis meyakini sepenuhnya bahwa sekecil apapun buku ini tetap akan memberikan sebuah manfaat bagi pembaca, terutama untuk mahasiswa pada program studi Teknik Fisika.

Jakarta, November 2020.

Penulis

Erna Kusuma Wati

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	iv
Bab 1. Gelombang	1
1. 1 Pendahuluan	1
1. 2 Cepat Rambat bunyi	3
1. 3 Intensitas & Taraf Intensitas	7
1. 4 Efek Dopler	11
1. 5 Sifat Gelombang	12
Bab 2. Rekayasa Vibrasi Pada Bidang Akustik	20
2. 1 Pendahuluan	21
2. 2 Vibrasi	22
2. 3 Akustik.....	38
Bab 3. Rekayasa Vibrasi Pada Fisika Bangunan	45
3. 1 Pendahuluan	45
3. 2 Gempa.....	65
3. 3 Peredam Vibrasi	68
Bab 4. Rekayasa Vibrasi Pada Bidang Industri	74
4. 1 Pendahuluan	74
4. 2 Vibration Meter	77
4. 3 Getaran dengan Peredam	78
4. 4 Getaran Tanpa Peredam	82
4. 5 Getaran akibat mesin	86
4. 6 Vibration protection	88

Bab 5. Metode Pengukuran Serap Suara	92
5. 1 BackGround Noise Level	93
5. 2 Distribusi Tingkat Tekanan Bunyi	96
4. 3 Respon Impuls Ruang.....	98
Bab 6. Metode Penyerap vibrasi	112
6. 1 Pendahuluan	112
6. 2 BackGround Noise Level	114
Bab 7. Media Penyerap vibrasi	132
7. 1 Karakteristik Media Penyerap	132
7. 2 Jenis-jenis Media	133
Bab 8. Sistem Peredam Getaran Pada Struktur	146
8. 1 Pendahuluan	146
8. 2 Tuned Mass Dumper	147
8. 3 Rancang sistem Peredam	153
8. 4 Hasil Sistem Peredam	160
Bab 9. Sistem Pendeteksi Getaran Gempa	171
9. 1 Pendahuluan	171
9. 2 Gempa Bumi	173
9. 3 Arduino Uno	177
9. 4 Sensor Modul SW-420	179
9. 5 Sistem Peredam.....	180
9. 6 Hasil Sistem Peredam.....	187
Bab 10. Vibrasi Akibat Kebisingan Lingkungan	200
10. 1 Pendahuluan	200
10. 2 Jenis-jenis kebisingan	206
Daftar Pustaka.....	213

1. GELOMBANG BUNYI

Gelombang bunyi merupakan gelombang longitudinal, karena gelombang berosilasi searah dengan gerak gelombang tersebut, membentuk daerah bertekanan tinggi dan rendah (rapatan dan renggangan). Partikel yang saling berdesakan akan menghasilkan gelombang bertekanan tinggi, sedangkan molekul yang meregang akan menghasilkan gelombang bertekanan rendah. Kedua jenis gelombang ini menyebar dari sumber bunyi dan bergerak secara bergantian pada medium.

Gelombang bunyi adalah

getaran/osilasi yang terjadi akibat fenomena tekanan, regangan, perubahan posisi partikel, dan perubahan kecepatan partikel dari medium pengantar gelombang suara itu sendiri (udara, air/cairan atau juga benda padat). Getaran/osilasi itu sendiri, terjadi pada sumber suaranya, misalnya snar gitar dan juga body gitar itu sendiri. Gelombang suara itu sendiri harus merambat melalui medium (atau juga kombinasi medium2 dengan jenis berbeda, misalnya udara dan tembok atau kaca jendela). Gelombang suara yang merambat di udara (umumnya) merupakan penyebab terjadinya sensasi pendengaran pada telinga manusia. Seperti efek domino,

pergerakan gelombang terjadi dengan cara perpindahan energi yang terdapat pada gelombang tersebut dari satu partikel ke satu partikel dekat lainnya pada suatu medium. Kecepatan rambat gelombang bergantung pada kerapatan massa mediumnya. Di udara, gelombang suara merambat dengan kecepatan kira-kira 340 m/s. Pada medium rambat.

zat cair dan padat, kecepatan rambat gelombang suara menjadi lebih cepat yaitu 1500 m/s di dalam air dan 5000 m/s di dalam besi.

2.2 Cepat Rambat Bunyi

Gelombang bunyi dapat bergerak

melalui zat padat, zat cair, dan gas, tetapi tidak bisa melalui vakum, karena di tempat vakum tidak ada partikel zat yang akan mentransmisikan getaran. Kemampuan gelombang bunyi untuk menempuh jarak tertentu dalam satu waktu disebut Kecepatan Bunyi. Kecepatan bunyi di udara bervariasi, tergantung temperatur udara dan kerapatannya. Apabila temperatur udara meningkat, maka kecepatan bunyi akan

bertambah. Semakin tinggi kerapatan udara, maka bunyi semakin cepat merambat. Kecepatan bunyi dalam zat cair lebih besar daripada cepat rambat bunyi di udara. Sementara itu, kecepatan

bunyi pada zat padat lebih besar daripada cepat rambat bunyi dalam zat cair dan udara. Cepat rambat bunyi di udara bergantung pada jenis partikel yang membentuk udara tersebut. Persamaannya dapat dituliskan sebagai berikut.

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

Cepat rambat bunyi dalam zat padat ditentukan oleh modulus Young dan massa jenis zat tersebut. Persamaannya dapat dituliskan sebagai berikut.

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Keterangan:

E = modulus Young zat padat (N/m^2)

ρ = massa jenis zat padat (kg/m^3)

Di dalam zat cair, cepat rambat bunyi ditentukan oleh modulus Bulk dan kerapatan

(massa jenis) cairan tersebut. Persamaannya dapat dituliskan sebagai berikut.

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

Keterangan:

$B = \text{modulus Bulk (N/m}^2\text{)}$

$\rho = \text{massa jenis zat cair (kg/m}^3\text{)}$

Tabel 1 menunjukkan cepat rambat bunyi di berbagai materi pada 20 °C dan 1 atm.

Materi	Laju (m/s)
Udara	343
Udara (0 °C)	331
Helium	1.005
Hidrogen	1.300
Air	1.440
Air laut	1.560
Besi dan baja	5.000
Kaca	4.500
Aluminium	5.100
Kayu keras	4.000

2.3 Intensitas dan Taraf Intensitas

Pada dasarnya gelombang bunyi adalah rambatan energi yang berasal dari sumber bunyi yang merambat ke segala arah, sehingga muka gelombangnya berbentuk bola (sferis). Intensitas bunyi adalah energi gelombang bunyi yang menembus permukaan bidang tiap satu satuan luas tiap detiknya. Apabila suatu sumber bunyi mempunyai daya sebesar P

watt, maka besarnya intensitas bunyi di suatu tempat yang berjarak r dari sumber bunyi dapat dinyatakan :

$$I = \frac{P}{A} = \frac{P}{4\pi r^2}$$

dengan :

I = intensitas bunyi (watt/m²)

P = daya sumber bunyi (watt, joule/s)

A = luas permukaan yang ditembus gelombang bunyi (m²)

r = jarak tempat dari sumber bunyi (m)

Jika titik A berjarak r_1 dan titik B berjarak r dari sumber bunyi, maka perbandingan intensitas bunyi antara titik A dan B dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$\frac{I_A}{I_B} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$

Dikarenakan keterbatasan pendengaran telinga manusia, maka para

ahli menggunakan istilah dalam intensitas bunyi dengan menggunakan ambang pendengaran dan ambang perasaan.

▮ Intensitas ambang pendengaran (I_0) yaitu intensitas bunyi terkecil yang masih mampu didengar oleh telinga, Besarnya ambang pendengaran berkisar pada $10^{-12} \text{ watt/m}^2$

▮ Intensitas ambang perasaan yaitu intensitas bunyi yang terbesar yang masih dapat didengar telinga tanpa menimbulkan rasa sakit. Besarnya ambang perasaan berkisar pada 1 watt/m^2

Taraf intensitas bunyi merupakan

perbandingan nilai logaritma antara intensitas bunyi yang diukur dengan intensitas ambang pendengaran (I_0) yang dituliskan

dalam persamaan :

$$TI = 10 \frac{\log I}{\log I_0}$$

2.4 Efek Doppler

Efek Doppler adalah perubahan frekuensi yang diterima pendengar dibanding dengan frekuensi sumbernya akibat gerak relatif pendengar dan sumber. Gejala perubahan frekuensi ini ditemukan oleh Christian Johanm Doppler (1803-1855), seorang fisikawan Austria. Secara matematis efek Doppler dinyatakan sebagai berikut.

$$f_p = \frac{v \pm v_p}{v \pm v_s} \cdot f_s$$

2.5 Sifat-Sifat Gelombang Bunyi

Sifat-sifat umum tentang gelombang, yaitu pembiasan (refraksi), pemantulan (refleksi), pelenturan (difraksi), interferensi, dan polarisasi. Bunyi merupakan salah satu bentuk gelombang. Oleh karena itu, gelombang bunyi juga mengalami peristiwa-peristiwa tersebut.

i. Pemantulan Gelombang Bunyi

Mengapa saat Anda berteriak di sekitar tebing selalu ada bunyi yang menirukan suara Anda tersebut? Mengapa suara Anda terdengar lebih keras ketika berada di dalam gedung? Kedua peristiwa tersebut

menunjukkan bahwa bunyi dapat dipantulkan. Bunyi pantul dapat memperkuat bunyi aslinya. Itulah sebabnya suara musik akan terdengar lebih keras di dalam ruangan daripada di lapangan terbuka.

ii. Pembiasan Gelombang Bunyi

Sesuai dengan hukum pembiasan gelombang bahwa gelombang yang datang dari medium kurang rapat ke medium lebih rapat akan dibiaskan mendekati garis normal atau sebaliknya. Pada siang hari, suhu udara di permukaan lebih tinggi daripada di atasnya. Hal

tersebut menyebabkan lapisan udara pada bagian atas lebih rapat daripada di bawahnya. Sehingga, pada siang hari arah rambat bunyi dibiaskan menjauhi garis normal (melengkung ke atas). Akibatnya, suara teriakan yang cukup jauh pada siang hari terdengar kurang jelas. Sebaliknya, pada malam hari lapisan udara di permukaan lebih rapat daripada di atasnya. Sehingga, arah rambat bunyi dibiaskan mendekati garis normal (melengkung ke bawah). Akibatnya, suara teriakan yang cukup jauh pada malam hari

Difraksi adalah peristiwa pelenturan gelombang ketika melewati celah, yang ukuran celahnya se-orde dengan panjang gelombangnya. kaca pembatas loket pembayaran di sebuah bank yang sengaja dibuat dengan beberapa lubang kecil agar gelombang bunyi tidak memantul, walaupun arah rambat bunyi tidak berupa garis lurus. Gelombang bunyi mudah mengalami difraksi karena gelombang bunyi di udara memiliki panjang gelombang sekitar beberapa sentimeter sampai beberapa meter. Bandingkan dengan cahaya yang memiliki

panjang gelombang berkisar 500 mm.

iv. Interferensi Gelombang Bunyi

Interferensi Gelombang Bunyi terjadi jika beda lintasannya merupakan kelipatan bilangan bulat dari setengah panjang gelombang bunyi, secara matematis dituliskan sebagai berikut

$$\Delta s = \frac{(n+1)\lambda}{2}$$

dengan $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ $n = 0, n = 1$, dan $n = 2$ berturut-turut untuk bunyi kuat pertama, bunyi kuat kedua, dan bunyi kuat ketiga.

v. Pelayangan Bunyi

Interferensi yang ditimbulkan dari dua gelombang bunyi dapat menyebabkan peristiwa pelayangan bunyi, yaitu penguatan dan pelemahan bunyi. Hal tersebut terjadi akibat superposisi dua gelombang yang memiliki frekuensi yang sedikit berbeda dan merambat dalam arah yang sama. Jadi, satu pelayangan didefinisikan sebagai dua bunyi keras atau dua bunyi lemah yang

terjadi secara berurutan, (layangan = kuat — lemah — kuat atau lemah — kuat

— lemah). Jika kedua gelombang bunyi tersebut merambat bersamaan, akan menghasilkan bunyi paling kuat saat fase keduanya sama. Jika kedua getaran berlawanan fase, akan dihasilkan bunyi paling lemah. Jika kedua gelombang bunyi tersebut merambat bersamaan, akan menghasilkan bunyi paling kuat saat fase keduanya sama. Jika kedua getaran berlawanan fase, akan dihasilkan bunyi paling lemah.

Secara matematis pelayangan bunyi dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$f_p = | f_1 - f_2 |$$

Keterangan:

f_p = frekuensi pelayangan (Hz)

f_2 = frekuensi gelombang 2 (Hz)

f_1 = frekuensi gelombang 1 (Hz)

2. APLIKASI REKAYASA VIBRASI PADA BIDANG AKUSTIK

Suatu benda yang mengalami getaran selalu mempunyai posisi kesetimbangan yang stabil. Jika benda tersebut dijauhkan dari posisi ini dan dilepaskan, akan timbul suatu gaya atau torsi untuk menarik benda tersebut kembali ke posisi setimbangnya. Akan tetapi, pada saat benda tersebut mencapai posisi setimbangnya, benda tersebut telah memiliki energi kinetik sehingga melampaui posisi tersebut, berhenti di suatu tempat pada sisi yang lain, untuk kemudian kembali lagi ke posisi kesetimbangannya. Dari ilustrasi sederhana ini, kita dapat mendefinisikan getaran sebagai gerak bolak-balik di sekitar titik/posisi kesetimbangan.

Ada beberapa istilah yang akan kita gunakan dalam membicarakan segala macam gerak osilasi, yaitu amplitudo, periode, frekuensi, dan frekuensi sudut.

Amplitudo getaran yang biasa disimbolkan dengan huruf A merupakan besar perpindahan maksimum dari titik kesetimbangan.

Periode getaran yang biasa disimbolkan dengan huruf T merupakan waktu yang diperlukan untuk satu kali getaran/satu siklus.

Frekuensi getaran dengan simbol huruf f adalah banyaknya getaran untuk

satu satuan waktu. Satuan SI untuk frekuensi adalah hertz. $1\text{ hertz} = 1\text{ Hz} = 1$

getaran/ sekon $= 1\text{ getaran s}^{-1}$.

Frekuensi getaran dengan simbol huruf f adalah banyaknya getaran untuk

satu satuan waktu. Satuan SI untuk frekuensi adalah hertz. $1\text{ hertz} = 1\text{ Hz} = 1$

getaran/ sekon $= 1\text{ getaran s}^{-1}$.

Hubungan antara frekuensi dengan periode dinyatakan oleh Persamaan :

$$f=1/T$$

Frekuensi sudut getaran dengan simbol ω didefinisikan oleh

$$\omega=2\pi f$$

Satuan SI untuk frekuensi sudut adalah radian (rad).

Pengertian Vibrasi (Getaran)

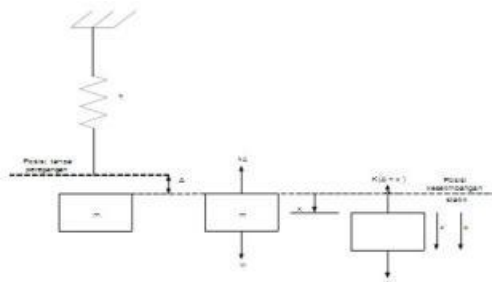
Vibrasi / Getaran adalah gerakan bolak-balik dalam suatu interval waktu tertentu. Getaran berhubungan dengan gerak osilasi benda dan gaya yang berhubungan dengan gerak tersebut. Semua benda yang mempunyai massa dan elastisitas mampu bergetar, jadi kebanyakan mesin dan struktur rekayasa (engineering) mengalami getaran sampai derajat tertentu dan rancangannya biasanya memerlukan pertimbangan sifat osilasinya.

Ada dua kelompok getaran yang umum yaitu :

(1).Getaran Bebas.

Getaran bebas terjadi jika sistem berosilasi karena bekerjanya gaya yang ada dalam sistem itu sendiri

(inherent), dan jika ada gaya luar yang bekerja. Sistem yang bergetar bebas akan bergerak pada satu atau lebih frekuensi naturalnya, yang merupakan sifat sistem dinamika yang dibentuk oleh distribusi massa dan kekuatannya. Semua sistem yang memiliki massa dan elastisitas dapat mengalami getaran bebas atau getaran yang terjadi tanpa rangsangan luar.

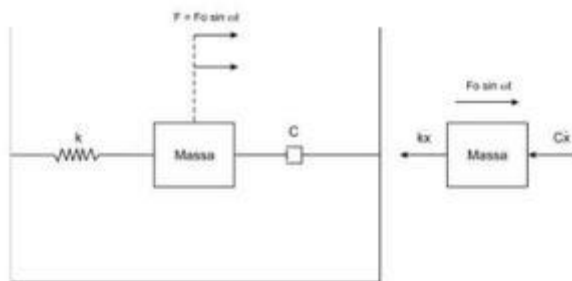


Gambar. Sistem Pegas – massa dan diagram benda bebas

(2).Getaran Paksa.

Getaran paksa adalah getaran yang terjadi karena rangsangan gaya luar, jika rangsangan tersebut beresilasi maka sistem dipaksa untuk bergetar pada frekuensi rangsangan. Jika frekuensi

rangsangan sama dengan salah satu frekuensi natural sistem, maka akan didapat keadaan resonansi dan osilasi besar yang berbahaya mungkin terjadi. Kerusakan pada struktur besar seperti jembatan, gedung ataupun sayap pesawat terbang, merupakan kejadian menakutkan yang disebabkan oleh resonansi. Jadi perhitungan frekuensi natural merupakan hal yang utama.



Gambar. Getaran paksa dengan peredam

Vibrasi atau getaran mempunyai tiga parameter yang dapat dijadikan sebagai tolak ukur yaitu :

a. Amplitudo

Amplitudo adalah ukuran atau besarnya sinyal vibrasi yang dihasilkan. makin tinggi

amplitudo yang ditunjukkan menunjukkan makin besar gangguan yang terjadi. besarnya amplitudo tergantung pada tipe mesin yang ada.

b. Frekuensi

Frekuensi adalah banyaknya periode getaran yang terjadi dalam satu putaran waktu. Besarnya frekuensi yang timbul saat terjadinya vibrasi dapat mengindikasikan jenis jenis gangguan yang terjadi. Frekuensi biasanya ditunjukkan dalam bentuk Cycle Per Menit (CPM) yang biasanya disebut dengan istilah Hertz(Hz).

c. Phase Vibrasi

Phase adalah penggambaran akhir dari pada karakteristik suatu getaran atau vibrasi yang terjadi pada suatu mesin. Phase adalah perpindahan atau perubahan posisi pada bagian bagian yang bergetar secara relatif untuk menentukan titik referensi atau titik awal pada bagian lain yang bergetar.

2. Gelombang Bunyi

Gelombang bunyi merupakan gelombang longitudinal, karena gelombang berosilasi searah dengan gerak gelombang tersebut, membentuk daerah bertekanan tinggi dan rendah (rapatan dan renggangan). Partikel yang saling berdesakan akan menghasilkan gelombang bertekanan tinggi, sedangkan molekul yang meregang akan menghasilkan gelombang bertekanan rendah. Kedua jenis gelombang ini menyebar dari sumber bunyi dan bergerak secara bergantian pada medium.

Gelombang bunyi adalah getaran/osilasi yang terjadi akibat fenomena tekanan, regangan, perubahan posisi partikel, dan

perubahan kecepatan partikel dari medium pengantar gelombang suara itu sendiri (udara, air/cairan atau juga benda padat). Getaran/osilasi itu sendiri, terjadi pada sumber suaranya, misalnya snar gitar dan juga body gitar itu sendiri. Gelombang suara itu sendiri harus merambat melalui medium (atau juga kombinasi medium² dengan jenis berbeda, misalnya udara dan tembok atau kaca jendela). Gelombang suara yang merambat di udara (umumnya) merupakan penyebab terjadinya sensasi pendengaran pada telinga manusia. Seperti efek domino, pergerakan gelombang terjadi dengan cara perpindahan energi yang terdapat pada gelombang tersebut dari satu partikel ke satu partikel dekat lainnya pada suatu medium. Kecepatan rambat gelombang

bergantung pada kerapatan massa mediumnya. Di udara, gelombang suara merambat dengan kecepatan kira-kira 340 m/s. Pada medium rambat zat cair dan padat, kecepatan rambat gelombang suara menjadi lebih cepat yaitu 1500 m/s di dalam air dan 5000 m/s di dalam besi.

2.1 Cepat Rambat Bunyi

Gelombang bunyi dapat bergerak melalui zat padat, zat cair, dan gas, tetapi tidak bisa melalui vakum, karena di tempat vakum tidak ada partikel zat yang akan mentransmisikan getaran. Kemampuan gelombang bunyi untuk menempuh jarak tertentu dalam satu waktu disebut Kecepatan Bunyi. Kecepatan bunyi di udara bervariasi, tergantung temperatur udara dan kerapatannya. Apabila temperatur

udara meningkat, maka kecepatan bunyi akan bertambah. Semakin tinggi kerapatan udara, maka bunyi semakin cepat merambat. Kecepatan bunyi dalam zat cair lebih besar daripada cepat rambat bunyi di udara. Sementara itu, kecepatan bunyi pada zat padat lebih besar daripada cepat rambat bunyi dalam zat cair dan udara. Cepat rambat bunyi di udara bergantung pada jenis partikel yang membentuk udara tersebut.

Persamaannya dapat dituliskan sebagai berikut.

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

Keterangan:

γ = konstanta Laplace

R = tetapan umum gas (8,31 J/mol
K)

Cepat rambat bunyi dalam zat padat ditentukan oleh modulus Young dan massa jenis zat tersebut. Persamaannya dapat dituliskan sebagai berikut.

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Di dalam zat cair, cepat rambat bunyi ditentukan oleh modulus Bulk dan kerapatan (massa jenis) cairan tersebut. Persamaannya dapat dituliskan sebagai berikut.

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

Keterangan:

B = modulus Bulk (N/m²)

ρ = massa jenis zat cair (kg/m³)

Tabel 1 menunjukkan cepat rambat bunyi di berbagai materi pada 20 °C dan 1 atm.

Materi	Laju (m/s)
Udara	343
Udara (0 °C)	331
Helium	1.005
Hidrogen	1.300
Air	1.440
Air laut	1.560
Besi dan baja	5.000
Kaca	4.500
Aluminium	5.100
Kayu keras	4.000

2.2 Intensitas dan Taraf Intensitas

Pada dasarnya gelombang bunyi adalah rambatan energi yang berasal dari sumber bunyi yang merambat ke segala arah, sehingga muka gelombangnya berbentuk bola (sferis). Intensitas bunyi adalah energi gelombang bunyi yang menembus permukaan bidang tiap satu satuan luas tiap detiknya. Apabila suatu sumber bunyi mempunyai daya sebesar P watt, maka besarnya intensitas bunyi di suatu tempat yang

berjarak r dari sumber bunyi dapat dinyatakan :

dengan :

I = intensitas bunyi (watt/m^2)

P = daya sumber bunyi (watt, joule/s)

A = luas permukaan yang ditembus gelombang bunyi (m^2)
 r = jarak tempat dari sumber bunyi (m)

2.3 Sifat-Sifat Gelombang Bunyi

Sifat-sifat umum tentang gelombang, yaitu pembiasan (refraksi), pemantulan (refleksi), pelenturan (difraksi), interferensi, dan polarisasi. Bunyi merupakan salah satu bentuk gelombang. Oleh karena itu, gelombang bunyi juga mengalami peristiwa-peristiwa tersebut.

- i. Pemantulan Gelombang Bunyi
Mengapa saat Anda berteriak di sekitar tebing selalu ada bunyi yang menirukan suara Anda tersebut? Mengapa suara Anda terdengar lebih keras ketika berada di dalam gedung? Kedua peristiwa tersebut menunjukkan bahwa bunyi dapat dipantulkan. Bunyi pantul dapat memperkuat bunyi aslinya. Itulah sebabnya suara musik akan terdengar lebih keras di dalam ruangan daripada di lapangan terbuka.
- ii. Pembiasan Gelombang Bunyi
Sesuai dengan hukum pembiasan gelombang bahwa gelombang yang datang dari medium kurang rapat ke medium lebih rapat akan

dibiaskan mendekati garis normal atau sebaliknya. Pada siang hari, suhu udara di permukaan lebih tinggi daripada di atasnya. Hal tersebut menyebabkan lapisan udara pada bagian atas lebih rapat daripada di bawahnya. Sehingga, pada siang hari arah rambat bunyi dibiaskan menjauhi garis normal (melengkung ke atas). Akibatnya, suara teriakan yang cukup jauh pada siang hari terdengar kurang jelas. Sebaliknya, pada malam hari lapisan udara di permukaan lebih rapat daripada di atasnya. Sehingga, arah rambat bunyi dibiaskan mendekati garis normal (melengkung ke bawah).

Akibatnya, suara teriakan yang cukup jauh pada malam hari terdengar lebih jelas

iii. Difraksi Gelombang Bunyi

Difraksi adalah peristiwa pelenturan gelombang ketika melewati celah, yang ukuran celahnya se-orde dengan panjang gelombangnya. kaca pembatas loket pembayaran di sebuah bank yang sengaja dibuat dengan beberapa lubang kecil agar gelombang bunyi tidak memantul, walaupun arah rambat bunyi tidak berupa garis lurus. Gelombang bunyi mudah mengalami difraksi karena gelombang bunyi di udara memiliki panjang gelombang sekitar beberapa sentimeter sampai beberapa meter. Bandingkan dengan cahaya yang memiliki panjang gelombang berkisar 500 nm.

iv. Interferensi Gelombang Bunyi

Interferensi Gelombang Bunyi terjadi jika beda lintasannya merupakan kelipatan bilangan bulat dari setengah panjang gelombang bunyi, secara matematis dituliskan sebagai berikut

$$\Delta s = \frac{(n+1)\lambda}{2}$$

dengan $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ $n = 0$, $n = 1$, dan $n = 2$ berturut-turut untuk bunyi kuat pertama, bunyi kuat kedua, dan bunyi kuat ketiga.

v. Pelayangan Bunyi

Interferensi yang ditimbulkan dari dua gelombang bunyi dapat menyebabkan peristiwa

pelayangan bunyi, yaitu penguatan dan pelemahan bunyi. Hal tersebut terjadi akibat superposisi dua gelombang yang memiliki frekuensi yang sedikit berbeda dan merambat dalam arah yang sama. Jadi, satu pelayangan didefinisikan sebagai dua bunyi keras atau dua bunyi lemah yang terjadi secara berurutan, (layangan = kuat — lemah — kuat atau lemah — kuat — lemah). Jika kedua gelombang bunyi tersebut merambat bersamaan, akan menghasilkan bunyi paling kuat saat fase keduanya sama. Jika kedua getaran berlawanan fase, akan dihasilkan bunyi paling lemah.

Jika kedua gelombang bunyi tersebut merambat bersamaan, akan menghasilkan bunyi paling kuat saat fase keduanya sama. Jika kedua getaran berlawanan fase, akan dihasilkan bunyi paling lemah. Secara matematis pelayangan bunyi dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$f_p = | f_1 - f_2 |$$

Keterangan:

f_p = frekuensi pelayangan (Hz)

f_2 = frekuensi gelombang 2 (Hz)

f_1 = frekuensi gelombang 1 (Hz)

3.1 Akustik

Kata “akustik” berasal dari kata Yunani ακουστικός (akoustikos), yang berarti “dari atau untuk pendengaran, siap untuk mendengar” dan bahwa dari ακουστός (akoustos), “dengar, terdengar”, yang merupakan kata kerja ακούω

(akouo), “saya mendengar”. Sinonim Latin adalah “sonic”, setelah itu Sonics istilah yang digunakan untuk menjadi sinonim untuk akustik dan kemudian cabang akustik Frekuensi atas dan di bawah kisaran terdengar. Disebut “ultrasonik” dan “infrasonik”, Akustik adalah ilmu yang mempelajari tentang suara, bagaimana suara diproduksi/dihasilkan, perambatannya, dan dampaknya, serta mempelajari bagaimana suatu ruang / medium meresponi suara dan karakteristik dari suara itu sendiri yang sensasinya dirasakan oleh telinga. Ilmu akustik bukan bagaimana merancang interior, pemahaman yang salah tentang peranan ilmu akustik akan berakibat salah juga dalam penerapannya. Akustik adalah cabang dari ilmu Fisika. Oleh karena itu setiap pembuktian kegiatan akustik dapat dijelaskan secara empiris.

Pendapat lainnya, Akustik adalah ilmu interdisipliner yang berkaitan dengan studi dari semua gelombang mekanik dalam gas, cairan,

dan padatan termasuk getaran, USG, suara, dan infrasonik. Seorang ilmuwan yang bekerja di bidang akustik adalah acoustician sementara seseorang yang bekerja di bidang teknologi akustik dapat disebut seorang insinyur akustik. Penerapan akustik dapat dilihat di hampir semua aspek masyarakat modern dengan yang paling jelas adalah industri audio. Ilmu akustik sangat berhubungan dengan kehidupan manusia sehari – hari, selama masih ada sumber suara, medium rambatan dan pendengar maka ilmu akustik akan sangat berguna bagi umat manusia dan mampu meningkatkan kualitas hidup. Contoh kegiatan sehari – hari yang berhubungan dengan dunia akustik :

1. Suara manusia
2. Suara pesawat terbang
3. Suara sirine ambulans
4. Suara alat musik

Dibawah ini adalah cabang – cabang ilmu akustik :

- A. Musical acoustics (acoustics of musical instruments)
- B. Electroacoustics (audio, Loudspeaker and microphone design)
- C. Architectural acoustics (auditoriums, listening rooms)
- D. Psychoacoustics (human hearing and perception of sound)
- E. Underwater acoustics (sonar, echo ranging, military applications)
- F. Medical ultrasonics (using sound to kill cancer cells without surgery)

Peranan ilmu bidang akustik sama pentingnya dengan ilmu bidang arsitek, kedokteran, ekonomi, dan lain – lain. Mereka memiliki peranan yang sama, sama – sama untuk meningkatkan kualitas hidup manusia.

3.2 Karakteristik Media Penyerap Suara

Material memiliki reaksi reaksi yang berbeda terhadap bunyi dengan frekuensi yang berbeda.

Pada umumnya material dengan nilai NRC di bawah 0.20 bersifat reflektif, sedangkan material dengan nilai NRC di atas 0.40 bersifat menyerap.

Tabel 2.2 Absorption coefficients and NRC values for common materials

Material	α_{125}	α_{250}	α_{500}	α_{1000}	α_{2000}	α_{4000}	NRC
Painted drywall	0.10	0.08	0.05	0.03	0.03	0.03	0.05
Plaster	0.02	0.03	0.04	0.05	0.04	0.03	0.05
Smooth concrete	0.10	0.05	0.06	0.07	0.09	0.08	0.05
Coarse concrete	0.36	0.44	0.31	0.29	0.39	0.25	0.35
Smooth brick	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07	0.05
Glass	0.05	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.05
Metal blinds	0.06	0.05	0.07	0.15	0.13	0.17	0.10
Thick panel	0.25	0.47	0.71	0.79	0.81	0.78	0.70
Light drapery	0.03	0.04	0.11	0.17	0.24	0.35	0.15
Heavy drapery	0.14	0.35	0.55	0.72	0.70	0.65	0.60
Helmholtz resonator	0.20	0.95	0.85	0.49	0.53	0.50	0.70
Ceramic tile	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.00
Linoleum	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.05
Carpet	0.05	0.05	0.10	0.20	0.30	0.40	0.15
Carpet on concrete	0.05	0.10	0.15	0.30	0.50	0.55	0.25
Carpet on rubber	0.05	0.15	0.13	0.40	0.50	0.60	0.30

Sumber : Architectural Design Guide, 2000

3.3 Jenis – jenis media penyerap suara :

1. Bata : Merupakan blok bangunan modular, terbuat dari tanah liat, bersifat sebagai pereduksi udara yang sangat baik terutama pada sistem

dua paralel dibuat tanpa hubungan dengan adukan semen atau tanpa pelapis.

2. Beton : Material hasil campuran dari bahan air mempunyai daya yang kuat terhadap gaya tekan, digunakan untuk struktur slab atau dinding struktural. Beton merupakan pereduksi kebisingan udara yang sangat baik, dan tidak bersifat sebagai penyerap. Bila beton diberi celah udara dapat menyerap kebisingan dengan lebih baik lagi.
3. Kaca : Merupakan bahan transparan dari silikat yang sangat ringan, dan bersifat sebagai pereduksi yang sangat baik terutama pada frekuensi menengah. Kualitas dapat ditingkatkan dengan sistem berlapis dan berfungsi sebagai penyerap kebisingan tetapi beresiko pada resonansi frekuensi rendah.
4. Plywood : Jenis material ini tidak efektif untuk mereduksi bunyi kecuali bila digabung dengan material lain tetapi bila bentuknya tipis dapat menjadi penyerap yang kuat pada frekuensi

rendah. Bahan plywood merupakan pemantul bunyi yang cukup baik.

5. Karpets : Jenis material yang berfungsi sebagai bahan absorbs ruang dalam bentuk elemen lantai dengan tingkat penyerapan tinggi. Keberhasilan fungsi ditentukan oleh tebal dan proporsi bahan

3. APLIKASI REKAYASA VIBRASI PADA BIDANG FISIKA BANGUNAN

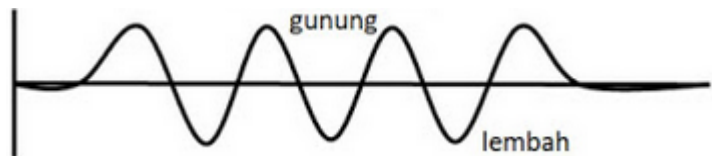
Gelombang adalah perambatan yang bersumber dari gangguan pada suatu medium. Pada peristiwa rambatan tersebut tidak disertai dengan perpindahan tempat secara permanen dari materi medium.

Gelombang menurut arah getarannya di bagi menjadi dua, yaitu :

- Gelombang Transversal adalah gelombang yang arah getarannya tegak lurus dengan arah perambatannya, sehingga bentuk dari gelombang ini terdapat bukit dan lembah gelombang.

Gelombang ini membutuhkan material solid untuk merambat dengan efektif, hal tersebut menyebabkan gelombang ini tidak efektif merambat pada material cair dan gas. Gelombang transversal

relatif lebih lemah jika dibandingkan dengan gelombang logitudinal. Contoh gelombang transversal yaitu seperti gelombang pada tali dan gelombang permukaan air.



a) Gelombang transversal

- Gelombang Logitudinal adalah gelombang yang arah getarannya berhimpit atau searah dengan arah rambatan gelombang. Gelombang ini tidak menunjukkan deretan bukit dan lembah, tapi merupakan rapatan dan regangan. Gelombang ini juga disebut dengan gelombang kerapatan (density waves) karena kerapatan partikel berfluktuasi pada saat gelombang ini bergerak.

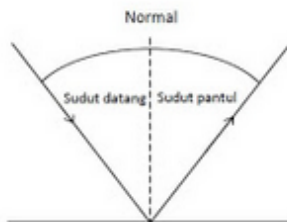
Gelombang ini dapat menjalar pada material cair dan padat. Contoh gelombang ini seperti terdapat pada gelombang pegas.



➤ Sifat Umum Gel b) Gelombang longitudinal

1. Gelombang dapat mengalami pemantulan (Refleksi)

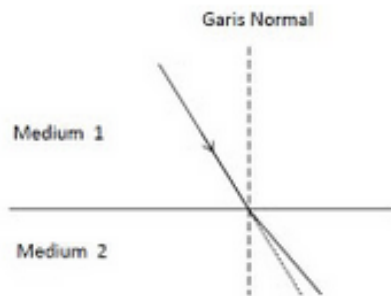
Pada pemantulan gelombang berlaku sudut datang gelombang sama dengan sudut pantulnya.



a) Gelombang Refleksi

2. Gelombang dapat mengalami pembiasan (Refraksi)

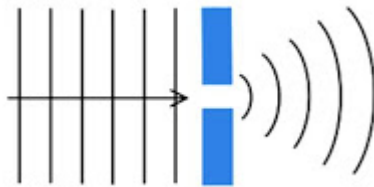
Dalam perambatan gelombang, apabila melerati bidang batas dua medium, maka gelombang datang akan mengalami pembelokan. Arah pembelokan disebut dengan pembiasan.



- b) Gelombang Refraksi

3. Gelombang dapat mengalami lenturan (Difraksi)

Apabila gelombang melalui sebuah penghalang yang memiliki sebuah celah. Pada celah tersebut akan menjadi sumber gelombang baru yang meneruskan gelombang awal ke segala arah.



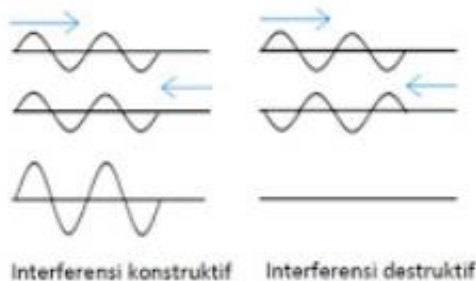
c) Gelombang Difraksi

4. Gelombang dapat mengalami penggabungan (Interferensi)

Perpaduan gelombang terjadi apabila terdapat gelombang dengan frekuensi dan beda fase bertemu. Interferensi gelombang dengan fase yang sama akan

menyebabkan kedua gelombang akan saling menguatkan disebut dengan interferensi konstruktif.

Sedangkan interferensi gelombang dengan fasa yang berlawanan akan menyebabkan kedua gelombang saling melemahkan disebut dengan interferensi destruktif.



d) Gelombang Interferensi

- Frekuensi dan Periode Gelombang
Frekuensi gelombang adalah banyaknya gelombang yang terjadi

dalam satu waktu. Frekuensi dinotasikan dengan huruf " f " dengan satuan Hertz atau disingkat dengan Hz. Frekuensi berbanding terbalik dengan periode, rumus mencari frekuensi adalah $f = \frac{1}{T}$ dimana f adalah frekuensi dan T adalah periode gelombang.

Periode gelombang adalah waktu yang dibutuhkan untuk menempuh satu gelombang dalam satuan detik. Periode gelombang pada gelombang transversal adalah gerakan gelombang dari kedudukan seimbang ke puncak gelombang kemudian kembali ke kedudukan seimbang lalu ke lembah gelombang sampai dengan kembali ke kedudukan seimbang.

➤ Gelombang Seismik

Gelombang seismik adalah gelombang elastis yang menjalar di dalam medium bumi yang diakibatkan oleh patahnya lapisan batuan ataupun disebabkan oleh ledakan. Gelombang seismik merambat sesuai dengan prinsip perambatan gelombang cahaya, pembiasan dengan koefisien bias, pemantulan dengan koefisien pantul. Gelombang seismik diukur dengan menggunakan alat seismometer. Gelombang seismik dibagi menjadi dua kelompok, yaitu :

1. Gelombang Badan (Body Waves)

Body waves adalah gelombang yang merambat di bawah permukaan bumi. Gelombang ini biasanya disebut dengan free wave, dikarenakan gelombang ini menjalar kesegala arah. Gelombang badan dibagi menjadi

dua bagian, yaitu gelombang Primer (P) dan gelombang Shear/Sekunder (S)

a. Gelombang Primer (P) disebut juga dengan gelombang kompresi, gelombang logitudinal, gelombang dilatasi atau gelombang irotasional. Gelombang ini dapat menjalar melalui segala medium (padat, cair dan gas). Gerakan partikel medium yang dilewati oleh gelombang ini searah dengan arah penjalaran gelombang. Didasarkan dengan jenis gelombang ini, yaitu gelombang logitudinal, maka gelombang ini memiliki bentuk rapatan dan regangan.

b. Gelomban Shear/ Sekunder (S) disebut juga sebagai gelombang transversal.

Gelombang ini memiliki arah gerakan yang tegak lurus dengan arah perambatan gelombang. Didasarkan pada jenisnya, gelombang ini memiliki puncak dan lembah gelombang. Gelombang S merambat pada sela medium padat yang dilalui. Gelombang ini hanya dapat menjalar pada medium padat karena medium cair dan gas tidak memiliki daya elastisitas untuk kembali ke bentuk asal. Berdasarkan waktu penjalarannya, waktu penjalaran gelombang S lebih lambat dibandingkan dengan gelombang P.

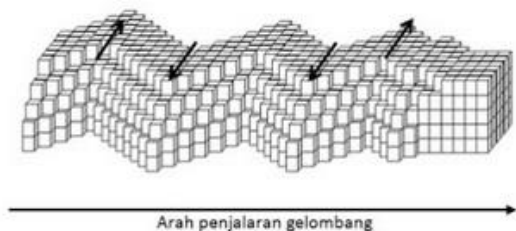
2. Gelombang Permukaan (Surface Waves)

Gelombang permukaan adalah gelombang yang merambat di permukaan bumi. Gelombang ini memiliki frekuensi yang lebih rendah dibandingkan dengan gelombang badan. Amplitudo gelombang permukaan akan mengecil dengan cepat terhadap kedalaman. Hal ini diakibatkan oleh adanya dispersi pada gelombang permukaan, yaitu penguraian gelombang berdasarkan panjang gelombangnya sepanjang perambatan gelombang. Gelombang permukaan dibagi menjadi dua kelompok, yaitu gelombang Love (LQ) dan gelombang Rayleigh (LR).

a. Gelombang Love (LQ)

Gelombang Love (LQ) adalah gelombang geser (S-wave) yang terpolarisasi secara

horizontal. Kecepatan rambat gelombang ini umumnya lebih lambat dari gelombang S. Dalam pelajarannya, gelombang ini tidak menghasilkan perpindahan material secara vertikal. Gelombang ini merambat pada permukaan bebas pada medium berlapis dengan gerakan partikel.



- a) Gelombang Love
- b. Gelombang Rayleigh
Gelombang Rayleigh (LR) adalah gelombang yang menjalar di permukaan bebas

pada medium berada maupun homogen dengan pergerakan menyerupai ellips. Karena penjalaran gelombang ini berada pada permukaan bumi, maka amplitudo gelombang Rayleigh akan berkurang dengan bertambahnya kedalaman. Pada saat terjadi gempa bumi besar, gelombang Rayleigh akan terlihat pada permukaan tanah yang bergerak ke atas dan ke bawah. Kecepatan rambat gelombang Rayleigh lebih lambat dari pada gelombang Love.



b) Gelombang Rayleigh

❖ Getaran

Getaran adalah gerakan bolak balik secara periodik dalam suatu interval waktu tertentu.

Getaran berhubungan dengan gerak osilasi benda dan gaya yang berhubungan dengan gerak tersebut. Semua benda yang memiliki massa dan elastisitas mampu bergetar, jadi kebanyakan mesin dan struktur rekayasa (engineering) mengalami getaran sampai derajat tertentu dan rancangannya biasanya memerlukan pertimbangan sifat osilasinya.

Ada dua kelompok getaran yang umum, yaitu:

➤ Getaran Bebas

Getaran bebas terjadi jika sistem berosilasi karena bekerja gaya yang ada didalam sistem itu sendiri(inherent), dan jika ada gaya luar yang bekerja. Sistem yang bergetar bebas akan bergerak pada

satu atau lebih frekuensi naturalnya. Yang merupakan sifat sistem dinamika yang dibentuk oleh distribusi massa dan kekuatannya. Semua sistem yang memiliki massa dan elastisitas dapat mengalami getaran bebas atau getaran yang terjadi tanpa rangsangan luar.

➤ **Getaran Paksa**

Getaran paksa adalah getaran yang terjadi arena rangsangan gaya luar, jika rangsangan tersebut beresilasi maka sistem dipaksa untuk bergetar pada frekuensi rangsangan. Jika frekuensi rangsangan sama dengan salah satu frekuensi natural sistem, maka akan didapat keadaan resonansi dan osilasi besar yang berbahaya mungkin terjadi. Kerusakan struktur besar seperti pada jembatan, gedung ataupun sayap pesawat

terbang, merupakan kejadian menakutkan yang disebabkan oleh resonansi. Jadi perhitungan frekuensi natural merupakan hal utama.

❖ Getaran Bebas tanpa peredam

Pada model yang paling sederhana redaman dianggap dapat diabaikan, dan tidak ada gaya luar yang memengaruhi massa (getaran beba). Dalam keadaan ini gaya yang berlaku pada pegas F_s sebanding dengan panjang peregangannya x , sesuai dengan hukum hooke, atau bila dirumuskan secara matematis :

$$F_s = - kx$$

Dengan k adalah tetapan pegas.

Sesuai dengan hukum kedua newton gaya yang ditimbulkan sebanding dengan percepatan massa :

$$\Sigma F = ma = m\ddot{x} = m \frac{d^2x}{dt^2}$$

karena $F = F_s$, maka persamaan diferensial biasa sebagai berikut :

$$m\ddot{x} + kx = 0$$

bila dianggap bahwa getaan sistem dimulai dengan meregangkan pegas sejauh A kemudian melepaskannya, solusi persamaan di atas adalah:

$$x(t) = A \cos (2\pi f_n t)$$

Massa akan berosilasi dalam gerak harmonis sederhana yang memiliki amplitudo A dan frekuensi f_n bilangan f_n adalah salah satu besaran yang terpenting dalam analisis getaran, dan dinamikan frekuensi alami tak teredam. Untuk sistem massa pegas sederhana f_n di definisikan sebagai:

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

❖ Getaran bebas dengan redaman

Bila peredaman diperhitungkan, berarti gaya peredam juga berlaku pada massa selain gaya yang disebabkan oleh peregangan pegas. Bila bergerak dalam fluida benda akan mendapatkan peredaman karena kekentalan fluida. Gaya akibat kekentalan ini sebanding dengan kecepatan benda. Konstanta akibat kekentalan (viskositas) c ini dinamakan koefisien peredam, dengan satuan N s/m (SI)

$$f_d = -cv = -c\dot{x} = -c \frac{dx}{dt}$$

Dengan menjumlahkan semua gaya yang berlaku pada benda maka didapat persamaan:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0$$

Persamaan ini tergantung pada besarnya redaman. Bila redaman cukup kecil, sistem masih akan bergetar, tetapi pada akhirnya akan berhenti. Keadaan ini disebut kurang redam, dan merupakan kasus yang paling mendapatkan perhatian dalam analisis

vibrasi. Bila peredam diperbesar sehingga mencapai titik saat sistem tidak lagi berosilasi, mencapai titik redam kritis. Bila peredam ditambahkan melewati titik kritis ini sistem disebut dalam keadaan lewat redam.

Nilai koefisien redaman yang diperlukan untuk mencapai titik redaman kritis pada model massa – pegas – peredam adalah:

$$C_c = 2\sqrt{km}$$

Untuk mengkarakteristik jumlah peredam dalam sistem digunakan nisbah yang dinamakan nisbah redaman. Nisbah ini adalah perbandingan antara peredaman sebenarnya terhadap jumlah peredaman yang diperlukan untuk mencapai titik redaman kritis. Rumus untuk nisbah redaman (ζ) adalah

$$\zeta = \frac{c}{2\sqrt{km}}$$

❖ Gempa Bumi (*earth quake*)

Gempa bumi adalah suatu gejala fisik yang ditandai dengan bergetarnya bumi dengan berbagai intensitas menciptakan gelombang seismik. Getaran gempa dapat disebabkan oleh berbagai hal antara lain peristiwa vulkanik, yaitu getaran yang disebabkan oleh aktivitas desakan magma ke permukaan bumi atau meletusnya gunung berapi. Gempa yang terjadi akibat aktivitas vulkanik ini disebut gempa vulkanik. Gempa vulkanik terjadi di daerah sekitar aktivitas gunung berapi, dan akan menyebabkan mekanisme patahan yang sama dengan gempa tektonik.

Getaran gempa dapat juga diakibatkan oleh peristiwa tektonik, yaitu getaran tanah yang disebabkan oleh getaran atau benturan antara lempeng-lempeng tektonik yang terdapat di dalam lapisan permukaan bumi. Gempa yang terjadi akibat aktivitas tektonik ini disebut gempa tektonik.

❖ Gelombang Gempa

Ada tiga macam cara gelombang dirambatkan, yaitu :

1. Gelombang Primer (P-Wave) bersifat logitudinal dan cepat ± 5500 m/det
2. Gelombang Sekunder (S-Wave) bersifat transversal lebih lambat dari P-Wave, ± 3000 m/det
3. Gelombang permukaan (R-Wave) lebih lambat dari P-Wave dan S-Wave, ± 2500 m/det.

❖ Mitigasi bencana Gempa

Mitigasi bencana adalah serangkaian upaya untuk mengurangi resiko bencana, baik melalui bangunan fisik maupun penyadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi ancaman bencana (Pasal 1 ayat 6 PP No 21 Tahun 2008 tentang penyelenggaraan penanggulangan bencana)

Mitigasi harus memperhatikan semua tindakan yang diambil untuk mengurangi pengaruh dari bencana dan kondisi yang peka dalam rangka untuk mengurangi bencana yang lebih besar dikemudian hari. Karena itu seluruh aktivitas mitigasi difokuskan pada bencana itu sendiri atau bagian/ elemen dari ancaman.

Beberapa hal untuk rencana mitigasi (mitigation plan) pada masa depan dapat dilakukan sebagai berikut :

1. Perencanaan lokasi (*land management*) dan pengaturan penempatan penduduk.
2. Memperkuat bangunan dan infrastruktur serta memperbaiki peraturan (code) desain yang sesuai.
3. Melakukan usaha preventif dengan merealokasikan aktifitas yang tinggi ke daerah yang lebih aman dengan mengembangkan mikrozonasi.

4. Melindungi dari kerusakan dengan melakukan upaya perbaikan lingkungan dengan maksud menyerap energi dari gelombang dan getaran gempa.

❖ Mitigasi gempa ditinjau dari teknik sipil

Mitigasi gempa dapat ditinjau dari ilmu teknik sipil yaitu menganalisis bangunan infrastruktur yang telah ada maupun yang akan dibangun dengan lebih memperhatikan masalah – masalah yang berkaitan dengan gempa.

Pada umumnya bangunan-bangunan yang di buat adalah besar dan berat, juga terdapat macam-macam bangunan. Karena banyaknya macam bangunan dalam teknik, maka dapat dibedakan sebagai berikut:

1. Bangunan kering, meliputi: rumah-rumah, gedung-gedung, pabrik, tugu peringatan, tempat ibadah, jalan raya, jembatan, dll.

2. Bangunan basah, meliputi: bendungan, bangunan irigasi, saluran air, waduk, dermaga pelabuhan, menara air, dll.

❖ Desain bangunan tahan gempa

Bangunan tahan gempa yang dimaksud adalah bangunan rumah yang apabila:

1. Digoyang gempa ringan, tidak mengalami kerusakan apa-apa.
2. Digoyang gempa sedang, hanya mengalami kerusakan pada elemen non- struktural.
3. Digoyang gempa besar, mengalami kerusakan pada elemen non struktural maupun struktural, tetapi bangunan harus tetap berdiri dan tidak boleh runtuh.

Persyaratan bangunan tahan gempa:

1. Membuat bangunan harus diatas struktur tanah yang stabil.

Mengingat tanah adalah sebagai penerus getaran saat terjadi gempa. Sebisa mungkin harus membuat bangunan diatas struktur tanah yang stabil yaitu tanah yang bertekstur keras, padat, dan merata kekerasannya.

2. Rancang lah bangunan dengan denah bangunan yang sederhana.

- Sebaiknya rancang bangunan dengan denah sederhana, misalnya jika membangun dengan bentuk denah yang tidak simetris seperti bentuk huruf U, T, L. dll, maka perlu melakukan pemisahan struktur tersebut seperti gambar berikut :

- Selain itu penempatan dinding – dinding penyekat dan lubang pintu juga

harus diperhatikan, sebisa mungkin tempatkanlah dinding penyekat dan lubang pintu pada posisi yang simetris, seperti gambar berikut :

- Dinding rumah tahan gempa
Pada pembuatan bidang-bidang dinding sebaiknya membentuk kotak-kotak tertutup supaya dinding satu dengan yang lainnya dapat berkaitan dengan baik. Perhatikan contoh gambar berikut :
- Atap bangunan
Untuk membuat atap bangunan sebisa mungkin membuat atap yang ringan.

3. Pondasi

Pembuatan pondasi harus diletakkan pada tanah yang stabil atau keras. Bilamana kondisi tanah kurang bagus maka anda harus memperbaiki kondisi tanah tersebut supaya pondasi tidak mudah amblas. Kedalaman pondasi juga harus diperhatikan, paling baik adalah pondasi yang terletak pada kedalaman 45 cm dari permukaan tanah.

Sebaiknya pondasi rumah di buat menerus sekeliling pada rumah yang akan dibuat. Pondasi dinding juga harus dibuat tersambung dengan pondasi dinding lainnya. Kemudian pada pondasi-pondasi

tersebut perlu diikat satu sama lain supaya tidak patah dengan memakai balok pengikat yang disebut sloof pada sepanjang pondasi tersebut. Pastikan selalu pondasi, sloof dan kolom akan saling terikat satu dengan yang lainnya.

4. Pada setiap luasan dinding 12 m², harus dipasang kolom, bisa menggunakan bahan kayu beton bertulang, baja, plester ataupun bambu.
5. Rumah harus dipasang balok pada sekeliling bangunan yang diikat kaku dengan kolom sehingga kerangka bangunan dapat terikat dengan kokoh dan kaku.
6. Pada bagian atap bangunan bisa menggunakan kayu yang kering atau baja ringan sebagai konstruksi

kuda-kudanya. Pemilihan atap juga sebisa mungkin pilihlah bahan atap yang ringan. Pada pemasangannya ikatlah atap dengan konstruksi kuda-kuda supaya atap tidak melorot pada waktu diguncang gempa.

7. Pilihlah bahan dinding dengan bahan ringan seperti papan, papan berserat, papan lapisan, bilik dan ikat dengan kencang dinding tersebut dengan kolom. Selanjutnya bila menggunakan dinding bata/batako, ada baiknya jika memilih bata pilihlah bata yang tidak mudah patah.

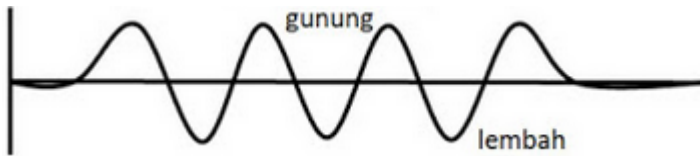
4. APLIKASI REKAYASA VIBRASI PADA BIDANG INDUSTRI

Gelombang adalah perambatan yang bersumber dari gangguan pada suatu medium. Pada peristiwa rambatan tersebut tidak disertai dengan perpindahan tempat secara permanen dari materi medium. Gelombang menurut arah getarannya di bagi menjadi dua, yaitu :

- Gelombang Transversal adalah gelombang yang arah getarannya tegak lurus dengan arah perambatannya, sehingga bentuk dari gelombang ini terdapat bukit dan lembah gelombang.

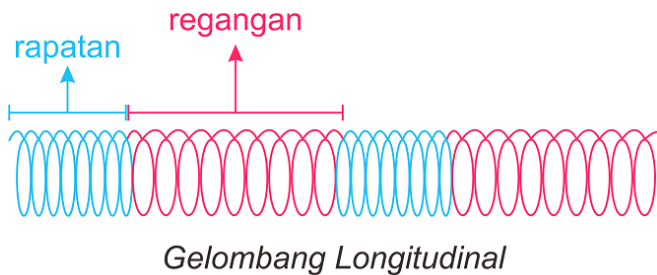
Gelombang ini membutuhkan material solid untuk merambat dengan efektif, hal tersebut menyebabkan gelombang ini tidak efektif merambat pada material cair dan gas. Gelombang transversal

relatif lebih lemah jika dibandingkan dengan gelombang logitudinal. Contoh gelombang transversal yaitu seperti gelombang pada tali dan gelombang permukaan air.



Gelombang transversal

- Gelombang Logitudinal adalah gelombang yang arah getarannya berhimpit atau searah dengan arah rambatan gelombang. Gelombang ini tidak menunjukkan deretan bukit dan lebah, tapi merupakan rapatan dan regangan. Gelombang ini juga disebut dengan gelombang kerapatan (density waves) karena kerapatan partikel berfluktasi pada saat gelombang ini bergerak.



Gelombang longitudinal

1. Getaran adalah gerakan bolak-balik dalam suatu interval waktu tertentu. Getaran berhubungan dengan gerak osilasi benda dan gaya yang berhubungan dengan gerak tersebut. Semua benda yang mempunyai massa dan elastisitas mampu menjadi kebanyakan mesin dan struktur rekayasa (engineering) mengalami getaran sampai derajat tertentu dan rancangannya biasanya memerlukan pertimbangan sifat osilasinya. Getaran adalah gerak bolak

balik atau gerak osilasi suatu benda yang mempunyai massa dan mempunyai elastisitas seperti sistem pegas massa.

Berdasarkan gerakan :

a. Vibrasi rectilinear

Massa bergerak naik turun atau bolak balik

b. Vibrasi rotasional

Massa bergerak berputar

Vibration Meter

Vibration Meter adalah alat uji atau instrument yang berfungsi untuk mengukur getaran sebuah benda, misalnya motor, pompa, screen, atau benda bergetar lainnya . Cara yang dilakukan adalah pengukuran getaran dengan Vibration Meter lalu disesuaikan dengan nilai batas yang telah ditentukan

Dengan melakukan kontrol dan analisa getaran secara berkala, maka

sesuatu yang tidak normal pada mesin dapat dideteksi sebelum kerusakan besar terjadi. Dengan pengukuran vibration meter ini, para pelaku industri juga dapat mencegah para pekerjanya mendapat bahaya getaran yang tinggi.

Pada umumnya semua objek yang ada di bumi ini pasti bergetar, benda yang ada disekitar kita pun sebenarnya bisa bergetar. Perlu diketahui bahwa getaran dapat diukur dengan tepat, adapun cara melakukan pengukuran getaran tersebut dengan vibration meter

2. Getaran dengan peredam.

Dynamic Vibration Absorber (DVA) adalah sebuah peredam yang secara bersamaan bergerak dengan sistem utama yang terdiri dari massa, pegas, dan damper tambahan yang digunakan untuk

meredam getaran yang ada pada sistem utama.

Pada Dynamic Vibration Absorber terdapat sistem utama yang disebut sistem primer, sedangkan peredam tambahan disebut sebagai sistem isolasi dimana pada setiap sistemnya terdapat beberapa parameter yang digunakan, yaitu M (massa), K (pegas), dan C (damper).

Sistem dengan Dynamic Vibration Absorber

Peredaman dengan Dynamic Vibration Absorber (DVA) mampu meredam getaran atau mereduksi displacement pada suatu mesin rotasi sebesar 16,6 % untuk maximal overshoot dan 65,5 % untuk minimal overshoot (Yudhikarisma, 2013) dengan parameter konstruksi penyangga $K_{1/2}$ dan $C_{1/2}$. Hal ini masih dirasakan masih kurang dalam peredaman getaran

pada sistem utama suatu mesin, sehingga dibutuhkan sistem peredam getaran yang efektif dan lebih baik lagi.

Dual Dynamic Vibration Absorber (Dual DVA) merupakan pengembangan dari sistem DVA yang dapat meredam getaran lebih cepat dan memiliki proses optimasi yang lebih cepat (Sun,H.L., 2007) dimana terdapat sebuah sistem primer dan dua buah sistem isolasi peredaman getaran mekanis sehingga sistem memiliki tiga derajat kebebasan.

Dual Dynamic Vibration Absorber (Dual DVA) dapat diterapkan sebagai salah satu metode sistem peredaman getaran dikarenakan hampir memiliki performansi yang serupa dengan sistem peredam State-Switched Absorber (SSA), (Sun,H.L., 2007) yaitu perangkat yang seketika dapat merubah kekakuan (stiffnes) diantara frekuensi resonansi dari suatu benda yang bergetar dengan

penekanan elastis pada basis massa yang dipasangkan sebagai kinerja eksperimental (Holdhusen, 2005) dan mampu meredam lebih baik dibandingkan dengan sistem peredam Single Dynamic Vibration Absorber (Single DV)

Sistem dengan Dual Dynamic Vibration Absorber (Dual DVA)

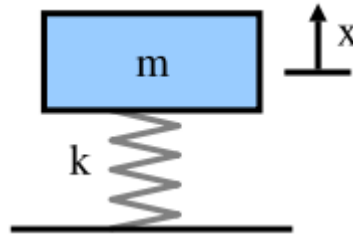
Suatu derajat kebebasan dapat menunjukkan respon perpindahan (displacement) pada suatu sistem. Adapun pemodelan untuk persamaan model matematis dari sistem Dual Dynamic Vibration Absorber (Dual DVA) adalah sebagai berikut

$$M_p \cdot \ddot{X}_p + 2C_p(\dot{X}_p - 0) + 2K_p(X_p - 0) + C_{21}(\dot{X}_p - \dot{X}_{21}) + K_{21}(X_p - X_{21}) + C_{22}(\dot{X}_p - \dot{X}_{22}) + K_{22}(X_p - X_{22}) = F(t).$$

$$M_{21} \cdot \ddot{X}_{21} + C_1(\dot{X}_{21} - \dot{X}_p) + K_{21}(X_{21} - X_p) = 0$$

$$M_{22} \cdot \ddot{X}_{22} + C_{22}(\dot{X}_{22} - \dot{X}_p) + K_{22}(X_{22} - X_p) = 0$$

3. Getaran tanpa peredam



a) Pegas tanpa peredam

Pada model yang paling sederhana redaman dianggap dapat diabaikan, dan tidak ada gaya luar yang memengaruhi massa (getaran beba). Dalam keadaan ini gaya yang berlaku pada pegas F_s sebanding dengan panjang peregangannya x , sesuai dengan hukum hooke, atau bila dirumuskan secara matematis :

$$F_s = - kx$$

Dengan k adalah tetapan pegas.

Sesuai dengan hukum kedua newton gaya yang ditimbulkan sebanding dengan percepatan massa :

$$\Sigma F = ma = m\ddot{x} = m \frac{d^2x}{dt^2}$$

karena $F = F_s$, maka persamaan diferensial biasa sebagai berikut :

$$m\ddot{x} + kx = 0$$

bila dianggap bahwa getaan sistem dimulai dengan meregangkan pegas sejauh A kemudian melepaskannya, solusi persamaan di atas adalah:

$$x(t) = A \cos (2\pi f_n t)$$

Massa akan berosilasi dalam gerak harmonis sederhana yang memiliki amplitudo A dan frekuensi f_n bilangan f_n adalah salah satu besaran yang terpenting dalam analisis getaran, dan dinamakan frekuensi alami tak teredam. Untuk sistem massa pegas sederhana f_n di definisikan sebagai:

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

•

Vibrasi pada industri

Vibrasi yang dihasilkan mesin industri bisa menjadi parameter untuk menentukan kondisi mesin tersebut. Layaknya seorang dokter yang melakukan pemeriksaan kesehatan pasien menggunakan stetoskop, mesin juga bisa diperiksa kesehatannya dengan menganalisa vibrasi yang dihasilkan menggunakan alat yang disebut vibration meter.

Kondisi kesehatan mesin dapat dianalisa melalui beberapa parameter seperti getaran, oli, suhu dan lainnya. Dengan rutin melakukan pemeriksaan, maka mesin bisa beroperasi dengan lancar. Jangan sampai mesin tiba-tiba mati ketika sedang beroperasi sehingga proses produksi menjadi terhambat.

Kenapa harus diukur lewat getaran ??

Karena, Getaran atau vibrasi mesin merupakan parameter yang paling mudah diukur dan juga paling mudah dipantau karena perubahannya sangat signifikan ketika terjadi

kerusakan. Beberapa kondisi yang mempengaruhi vibrasi yaitu perubahan kecepatan mesin, perubahan suhu, beban mesin dan juga perubahan tekanan selama beroperasi.

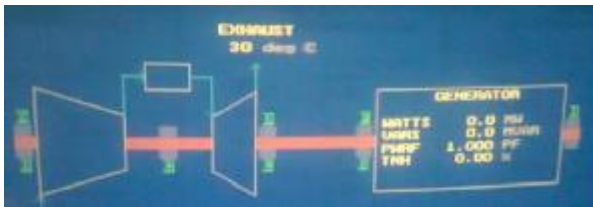
Contoh sederhana kendaraan yang baru dibeli ketika dinyalakan pasti mesinnya terasa halus. Namun, setelah sering digunakan getaran mesin agak kasar dan suhu mesin ikut meningkat. Berarti ada yang tidak beres dengan mesin kendaraan Anda. Kondisi ini, tidak jauh berbeda dengan vibrasi atau getaran pada mesin industri.

Beberapa faktor yang menyebabkan getaran mesin meningkat yaitu instalasi mesin yang kurang baik, spare part yang tidak sesuai, dan juga penggunaan mesin yang terlalu lama.

Karena faktor tersebut, beberapa komponen mesin juga terkena dampaknya seperti rotor, shaft, bearing, coupling hingga keseluruhan bagian mesin. Inilah alasan kenapa pengukuran vibrasi mesin harus dilakukan secara rutin.

- Getaran mesin (Mechanical Vibration)

diartikan sebagai gerakan bolak-balik dari komponen mekanik dari suatu mesin sebagai reaksi dari adanya gaya dalam (gaya yang dihasilkan oleh mesin tersebut) maupun gaya luar (gaya yang berasal dari luar atau sekitar mesin). Kasus yang dominan dalam getaran permesinan adalah yang disebabkan oleh gaya eksitasi getaran yang berasal dari mesin tersebut.



Contoh sensor vibrasi yang biasa digunakan adalah Velocity Sensor 5485C, dengan menggunakan kumparan suspensi tanpa gesekan, sensor ini memberikan hasil pengukuran vibrasi yang akurat dan dapat diulang-ulang hingga rentang amplitudo dan frekuensi yang luas. Sensor-sensor itu dibuat untuk bekerja terus menerus pada suhu yang tinggi.



Sensor velocity 5485C (375°C) high temperature

Axis Orientation:	Any
Sensitivity:	See "How to Select"
Sensitivity vs. Temp:	less than .02%/°C
Cross Axis Sensitivity:	less than 10%
Service Temperature:	See How To Select
Frequency Response:	15 Hz to 2000 Hz
Acceleration Limits:	0 to 50 g
Displacement Limits:	1.8 mm (70 mils) pk-pk
Case To Coil Isolation:	
at 20°C:	100 megohms, min.
at 200°C:	10 megohms, min.
at 375°C:	1.0 megohm, min.
Case:	Stainless steel; sealed

Sensor vibrasi yang digunakan sebanyak 8 buah yang dipasang di bearing sepanjang GTG.

SPEEDTRONICTM Mark V adalah suatu sistem yang dapat digunakan mengontrol dan proteksi Gas Turbin Generator dan telah dikembangkan oleh ***General Electric (GE)*** dengan menggunakan *software* dan *hardware* yang modern. System akan melakukan tindakan secara otomatis jika pembacaan sensor vibrasi melebihi setpoint yang telah ditentukan.

Vibration Protection

Proteksi sistem vibrasi adalah suatu system yang berfungsi untuk melindungi engine dari kerusakan fatal dikarenakan terindikasi kerusakan pada komponen yang mengakibatkan terjadinya vibrasi yang tinggi.

Pendeteksian kerusakan sensor vibrasi

Untuk mendeteksi kerusakan ataupun kesalahan pembacaan sensor vibrasi dapat dilakukan beberapa langkah sebagai berikut:

1. Dengan menggunakan ohmeter, kabel transducer dicek untuk mengetahui bahwa

transducer terhubung dengan panel ***SPEEDTRONICTM Mark V*** dan hanya terhubung ke panel yang bersesuaian dan tidak terhubung dengan yang lain

2. Menghubungkan dua input terminal dari sebuah *saismic vibration transducer* di *terminal card*, TBQB. kemudian dicek bahwa pada layar tampil pesan peringatan berupa "*Vibration Transducer Fault*"
3. Jumper dilepas, reset dan cek bahwa peringatannya sudah tidak tampil kembali.
4. Salah satu dari ujung vibration transducer tersebut diputuskan (hubung terbuka) dan dicek bahwa pada layar tampil pesan peringatan berupa "*Vibration Transducer Fault*"
5. Pasang kembali konektor kemudian reset alarm.

6. Ulangi langkah 1 hingga 5 untuk sensor vibrasi yang lain.

Pada umumnya turbin dilakukan perawatan secara periodik untuk pemeliharaan berdasarkan jam operasi. Setelah turbin yang bersangkutan menjalani jangka waktu operasi tertentu harus dilakukan perbaikan bahkan sampai adanya pergantian pada komponen-komponen turbin. Maintenance ini juga memiliki kelebihan untuk meningkatkan kehandalan dan keamanan.

Time based maintenance akan ditunjang oleh condition base maintenance (berdasarkan pemeliharaan kondisi) atau **condition monitoring** dengan cara memonitor kondisi turbin secara terus menerus dan melakukan pengamatan. Serta perbaikan apabila semua itu dibutuhkan. Tiga jenis pemeliharaan periodik yang diberlakukan pada turbin, khususnya pada turbin uap:

- Simple Inspection (SI)

Periodik check Vibrasi Turbin (Turbine

Vibration) dilakukan setiap satu tahun operasi (± 8000 jam operasi)

- Mean Inspection (ME)

Periodik check Vibrasi Turbin (Turbine Vibration) dilakukan setiap dua tahun operasi (± 16000 jam operasi)

- Serious Inspection (SE)

Periodik check Vibrasi Turbin (Turbine Vibration) atau overhoul dilakukan setiap empat tahun operasi (± 32000 jam operasi)

5. METODE PENGUKURAN SERAP SUARA

Kriteria yang biasa dipakai untuk mengukur kualitas akustik ruang auditorium adalah parameter subjektif dan objektif. Parameter subjektif lebih banyak ditentukan oleh persepsi individu, berupa penilaian terhadap seorang pembicara oleh pendengar dengan nilai indeks antara 0 sampai 10. Parameter subjektif meliputi intimacy, spaciousness atau envelopment, fullness, dan overall impressions yang biasanya dipakai untuk akustik teater dan concert hall (Legoh, 1993). Parameter ini memiliki banyak kelemahan karena persepsi masing-masing individu dapat

memberikan penilaian yang berbedabeda sesuai dengan latar belakang individu, sehingga diperlukan metoda pengukuran yang lebih objektif dan bersifat analitis seperti bising latar belakang (background noise), distribusi Tingkat Tekanan Bunyi (TTB), RT (Reverberation Time), EDT (Early Decay Time), D50 (Deutlichkeit), C50, C80 (Clarity), dan TS (Centre Time).

3.1 Tingkat Bising Latar Belakang (Background Noise Level)

Dalam setiap ruangan, dirasakan atau tidak, akan selalu ada suara. Hal ini menjadi dasar pengertian tentang adanya bising latar belakang (background noise).

Bising latar belakang dapat didefinisikan sebagai suara yang berasal bukan dari sumber suara utama atau suara yang tidak diinginkan. Dalam suatu ruangan tertutup seperti auditorium maka bising latar belakang dihasilkan oleh peralatan mekanikal atau elektrik di dalam ruang seperti pendingin udara (air conditioning), kipas angin, dan seterusnya. Demikian pula,

kebisingan yang datang dari luar ruangan, seperti bising lalu lintas di jalan raya, bising di area parkir kendaraan, dan seterusnya. Bising latar belakang tidak dapat sepenuhnya dihilangkan, akan tetapi dapat dikurangi atau diturunkan melalui serangkaian perlakuan akustik terhadap ruangan. Besaran bising latar belakang ruang dapat diketahui melalui pengukuran Tingkat Tekanan Bunyi (TTB) di dalam ruangan pada rentang frekuensi tengah pita oktaf antara 63 Hz sampai dengan 8 kHz, dimana hasil pengukuran digunakan untuk menentukan kriteria kebisingan ruang dengan cara

memetakannya pada kurva kriteria kebisingan (Noise Criteria – NC).

3.2 Distribusi Tingkat Tekanan Bunyi (TTB)

Salah satu tujuan dalam mendesain ruang auditorium adalah mencapai suatu tingkat kejelasan yang tinggi sehingga diharapkan agar setiap pendengar pada semua posisi menerima tingkat tekanan bunyi yang sama. Suara yang dipancarkan oleh pembicara atau pemusik diupayakan dapat menyebar merata dalam auditorium, agar para pendengar dengan posisi yang berbeda-beda dalam auditorium

tersebut memiliki penangkapan dan pemahaman yang sama akan informasi yang disampaikan oleh pembicara maupun pemusik. Syarat agar pendengar dapat menangkap informasi yang disampaikan meskipun dalam posisi berbeda adalah selisih antara tingkat tekanan bunyi terjauh dan terdekat tidak lebih dari 6 dB. Jika dalam suatu ruangan yang relatif kecil di mana sumber bunyi dengan tingkat suara yang normal telah mampu menjangkau pendengar terjauh, maka hampir dapat dipastikan bahwa distribusi tingkat tekanan bunyi dalam ruangan tersebut telah merata.

3.3 Respon Impuls Ruang

a. Waktu Dengung (Reverberation Time)

Parameter yang sangat berpengaruh dalam desain akustik auditorium adalah waktu dengung (Reverberation Time). Hingga saat ini, waktu dengung tetap dianggap sebagai kriteria paling penting dalam menentukan kualitas akustik suatu auditorium. Dalam geometri akustik disebutkan bahwa bunyi juga mengalami pantulan jika mengenai permukaan yang keras, tegar, dan rata, seperti plesteran, batu bata, beton, atau

kaca. Selain bunyi langsung, akan muncul pula bunyi yang berasal dari pantulan tersebut. Bunyi yang berkepanjangan akibat pemantulan permukaan yang berulang-ulang ini disebut dengung. Waktu dengung adalah waktu yang dibutuhkan suatu energi suara untuk meluruh hingga sebesar sepersatu juta dari energi awalnya, yaitu sebesar 60 dB. Sabine (1993) mendefinisikan waktu dengung yaitu waktu lamanya terjadi dengung di dalam ruangan yang masih dapat didengar. Dalam

perkembangannya, waktu dengung tidak hanya didasarkan pada peluruhan 60 dB saja, tetapi juga pada pengaruh suara langsung dan pantulan awal (EDT) atau peluruhan-peluruhan yang terjadi kurang dari 60 dB, seperti 15 dB (RT15), 20 dB (RT20), dan 30 dB (RT30). Waktu dengung (Reverberation Time) sangat menentukan dalam mengukur tingkat kejelasan speech. Auditorium yang memiliki waktu dengung terlalu panjang akan menyebabkan penurunan speech intelligibility, karena suara

langsung masih sangat
dipengaruhi oleh suara
pantulnya. Sedangkan auditorium
dengan waktu dengung terlalu
pendek akan mengesankan
ruangan tersebut “mati”.

b. EDT (Early Decay Time)

EDT atau Early Decay Time yang diperkenalkan oleh V. Jordan yaitu perhitungan waktu dengung (RT) yang didasarkan pada pengaruh bunyi awal yaitu bunyi langsung dan pantulan-pantulan awal yaitu waktu yang diperlukan Tingkat Tekanan Bunyi (TTB) untuk meluruh sebesar 10 dB. Pengukuran EDT disarankan untuk menghitung parameter subjektif seperti reverberance, clarity, dan impression.

c. Definition atau Deutlichkeit (a time window of 50 ms), D50

Definition merupakan kemampuan pendengar membedakan suara dari masing-masing instrumen dalam sebuah pertunjukan musik dalam kondisi transien, nada dasar dan harmoniknya mulai membentuk sehingga kemungkinan terjadi variasi spektrum. Definition juga merupakan kriteria dalam penentuan kejelasan pembicaraan dalam suatu ruangan dengan cara memanfaatkan konsep perbandingan energi yang termanfaatkan dengan energi

suara total dalam ruangan. D50 merupakan rasio antara energi yang diterima pada 50 ms pertama dengan total energi yang diterima. Durasi 50 ms disebut juga batas kejelasan speech yang dapat diterima. Semakin besar nilai D50 maka semakin baik pula tingkat kejelasan pembicaraan, karena semakin banyak energi suara yang dimanfaatkan dalam waktu 50 ms. Inteligibilitas atau kejelasan yang baik didapatkan untuk harga $D50 > 0\%$. Adapun kategori penilaian bagi speech intelligibility berdasarkan

Tabel 1. Kategori penilaian Speech Intelligibility berdasarkan D50

D50(%)	SI (%)	Kategori
0- 20	0-60	Sangat Buruk
20-30	60-80	Buruk
30-45	80-90	Cukup/sedang
45-70	90-97,5	Bagus
70-80	97,5-100	Sangat Baik

d. Clarity atau Klarheitsmass (C50 ; C80)

Clarity diukur dengan membandingkan antara energi suara yang termanfaatkan (yang datang sekitar 0.05 – 0.08 detik pertama setelah suara langsung) dengan suara pantulan yang

datang setelahnya, dengan mengacu pada asumsi bahwa suara yang ditangkap pendengar dalam percakapan adalah antara 50-80 ms dan suara yang datang sesudahnya dianggap suara yang merusak. Semakin tinggi nilai C50, maka semakin pendek waktu dengung, demikian pula sebaliknya. Tingkat kejelasan pembicaraan akan bernilai baik jika C50 lebih kecil atau sama dengan -2 dB. C80 merupakan rasio dalam dB antara energi yang diterima pada 80 ms pertama dari signal yang diterima dan energi

yang diterima sesudahnya. Batas ini ditujukan untuk kejelasan pada musik. Nilai C80 adalah nilai parameter yang terukur lebih dari 80 ms, semakin tinggi nilai C80 maka suara akan semakin tidak bagus.

e. TS (Centre Time)

TS merupakan waktu tengah antara suara datang (direct) dan suara pantul (early to late), semakin tinggi nilai TS maka kejernihan suara akan semakin buruk. TS merupakan sebuah titik dimana energi diterima sebelum

titik ini seimbang dengan energi yang diterima sesudah titik tersebut. TS sebagai pengukur sejauh mana kejelasan sebuah suara diterima oleh pendengar, di mana semakin rendah nilai TS semakin jelas suara yang diterima. Menurut Ribeiro (2002), parameter objektif berupa respon impuls ruang yang meliputi waktu dengung (Reverberation Time), waktu peluruhan (Early Decay Time), D50 (Definition), C50, C80 (Clarity) dan TS (Centre Time) memiliki standar besaran optimum tertentu yang perlu diperhatikan,

f. Parameter Subjektif

Parameter subjektif (berupa intimacy) merupakan impresi dalam kualitas bunyi yang seolah-olah sumber bunyi berada di dekat pendengar, atau disebut pula “presence”. Spaciousness atau envelopment merupakan kriteria bunyi yang seolah-olah meliputi seluruh ruang dengan merata. Sedangkan fullness of tone merupakan karakter yang mudah dikenali dalam musik, berkaitan dengan kualitas bunyi yang dihasilkan oleh instrumen musik secara memuaskan, kualitasnya

sangat ditentukan oleh waktu dengung. Overall impression merupakan penilaian rata-rata dari semua parameter yang penting.

Kondisi akustik suatu pertunjukan perlu disesuaikan dengan karakter kebutuhan akustik bagi suatu pertunjukan. Untuk ruang yang tidakterlalu besar, sampai dengan 2.800 m², perlakuan akustiknya tidak begitu berbeda. Namun, untuk ruang yang lebih besar, pilihan waktu dengung yang tepat perlu dikompromikan. Apabila auditorium tidak dilengkapi oleh sistem penguat suara elektronik (elektro-akustik),

sebaiknya jumlah penonton dibatasi sampai 1.000 orang. Bila ruang dilengkapi dengan sistem penguat suara elektronik, maka karakter akustik yang diinginkan dapat diatur dengan mudah, disesuaikan dengan waktu dengung yang tepat untuk kebutuhan tertentu. Sistem tersebut dapat dipakai untuk mengubah dan menyesuaikan kondisi akustik yang dibutuhkan.

6. METODE PENYERAP VIBRASI

6.1 Pendahuluan

Kriteria yang biasa dipakai untuk mengukur kualitas akustik ruang auditorium adalah parameter subjektif dan objektif. Parameter subjektif lebih banyak ditentukan oleh persepsi individu, berupa penilaian terhadap seorang pembicara oleh pendengar dengan nilai indeks antara 0 sampai 10. Parameter subjektif meliputi intimacy, spaciousness atau envelopment, fullness, dan overall impressions yang biasanya dipakai untuk akustik teater

dan concert hall (Legoh, 1993). Paramater ini memiliki banyak kelemahan karena persepsi masing-masing individu dapat memberikan penilaian yang berbedabeda sesuai dengan latar belakang individu, sehingga diperlukan metoda pengukuran yang lebih objektif dan bersifat analitis seperti bising latar belakang (background noise), distribusi Tingkat Tekanan Bunyi (TTB), RT (Reverberation Time), EDT (Early Decay Time), D50 (Deutlichkeit), C50, C80 (Clarity), dan TS (Centre Time).

6.2 Tingkat Bising Latar Belakang (Background Noise Level)

Dalam setiap ruangan, dirasakan atau tidak, akan selalu ada suara. Hal ini menjadi dasar pengertian tentang adanya bising latar belakang (background noise). Bising latar belakang dapat didefinisikan sebagai suara yang berasal bukan dari sumber suarautama atau suara yang tidak diinginkan. Dalam suatu ruangan tertutup seperti auditorium maka bising latar belakang dihasilkan oleh peralatan mekanikal atauelektrikal di dalam ruang seperti pendingin udara (air conditioning), kipas angin, dan seterusnya. Demikian pula kebisingan yang datang dari luar ruangan, seperti bising lalu lintas di jalan

raya, bising di area parkir kendaraan, dan seterusnya. Bising latar belakang tidak dapat sepenuhnya dihilangkan, akan tetapi dapat dikurangi atau diturunkan

melalui serangkaian perlakuan akustik terhadap ruangan .

Besaran bising latar belakang ruang dapat diketahui melalui pengukuran Tingkat Tekanan Bunyi (TTB) di dalam ruangan pada rentang frekuensi tengah pita oktaf antara 63 Hz sampai dengan 8 kHz, dimana hasil pengukuran digunakan untuk menentukan kriteria kebisingan ruang dengan cara memetakannya pada kurva kriteria kebisingan (Noise Criteria – NC).

6.3 Distribusi Tingkat Tekanan Bunyi (TTB)

Salah satu tujuan dalam mendesain ruang auditorium adalah mencapai suatu tingkat kejelasan yang

tinggi sehingga diharapkan agar setiap pendengar pada semua posisi menerima tingkat tekanan bunyi yang sama. Suara yang dipancarkan oleh pembicara atau pemusik diupayakan dapat menyebar merata dalam auditorium, agar para pendengar dengan posisi yang berbeda-beda dalam auditorium tersebut memiliki penangkapan dan pemahaman yang sama akan informasi yang disampaikan oleh pembicara maupun pemusik. Syarat agar pendengar dapat menangkap informasi yang disampaikan meskipun dalam posisi berbeda adalah selisih antara tingkat tekanan bunyi terjauh dan terdekat tidak lebih dari 6 dB. Jika dalam

suatu ruangan yang relatif kecil di mana sumber bunyi dengan tingkat suara yang normal telah mampu menjangkau pendengar terjauh, maka hampir dapat dipastikan bahwa distribusi tingkat tekanan bunyi dalam ruangan tersebut telah merata.

6.4 Respon Impuls Ruang

a. Waktu Dengung (Reverberation Time)

Parameter yang sangat berpengaruh dalam desain akustik auditorium adalah waktu dengung (Reverberation Time). Hingga saat ini, waktu dengung tetap dianggap sebagai kriteria

paling penting dalam menentukan kualitas akustik suatu auditorium. Dalam geometri akustik disebutkan bahwa bunyi juga mengalami pantulan jika mengenai permukaan yang keras, tegar, dan rata, seperti plesteran, batu bata, beton, atau kaca. Selain bunyi langsung, akan muncul pula bunyi yang berasal dari pantulan tersebut. Bunyi yang berkepanjangan akibat pemantulan permukaan yang berulang-ulang ini disebut dengung. Waktu dengung adalah waktu yang dibutuhkan suatu

energi suara untuk meluruh hingga sebesar sepersatu juta dari energi awalnya, yaitu sebesar 60 dB. Sabine (1993) mendefinisikan waktu dengung yaitu waktu lamanya terjadi dengung di dalam ruangan yang masih dapat didengar. Dalam perkembangannya, waktu dengung tidak hanya didasarkan pada peluruhan 60 dB saja, tetapi juga pada pengaruh suara langsung dan pantulan awal (EDT) atau peluruhan-peluruhan yang terjadi kurang dari 60 dB, seperti 15 dB (RT15), 20 dB

(RT20), dan 30 dB (RT30).

Waktu dengung (Reverberation Time) sangat menentukan dalam mengukur tingkat kejelasan speech. Auditorium yang memiliki waktu dengung terlalu panjang akan menyebabkan penurunan speech intelligibility, karena suara langsung masih sangat dipengaruhi oleh suara pantulnya. Sedangkan auditorium dengan waktu dengung terlalu pendek akan mengesankan ruangan tersebut “mati”.

b. EDT (Early Decay Time)

EDT atau Early Decay Time yang diperkenalkan oleh V. Jordan yaitu perhitungan waktu dengung (RT) yang didasarkan pada pengaruh bunyi awal yaitu bunyi langsung dan pantulan-pantulan awal yaitu waktu yang diperlukan Tingkat Tekanan Bunyi (TTB) untuk meluruh sebesar 10 dB. Pengukuran EDT disarankan untuk menghitung parameter subjektif seperti reverberance, clarity, dan

impression.

c. Definition atau Deutlichkeit (a time window of 50 ms), D50

Definition merupakan

Definition juga merupakan kriteria dalam penentuan kejelasan pembicaraan dalam suatu ruangan dengan cara memanfaatkan konsep perbandingan energi yang dimanfaatkan dengan energi suara total dalam ruangan. D50 merupakan rasio antara energi yang diterima pada 50 ms pertama dengan total energi yang diterima. Durasi 50 ms disebut juga batas kejelasan speech yang dapat diterima. Semakin besar nilai D50 maka semakin baik pula tingkat kejelasan

pembicaraan, karena semakin banyak energi suara yang termanfaatkan dalam waktu 50 ms. Inteligibilitas atau kejelasan yang baik didapatkan untuk harga D50 >0%.

d. Clarity atau Klarheitsmass
(C50 ; C80)

Clarity diukur dengan membandingkan antara energi suara yang termanfaatkan (yang datang sekitar 0.05 – 0.08 detik pertama setelah suara langsung) dengan suara pantulan yang datang setelahnya, dengan

mengacu pada asumsi bahwa suara yang ditangkap pendengar dalam percakapan adalah antara 50-80 ms dan suara yang datang sesudahnya dianggap suara yang merusak. Semakin tinggi nilai C50, maka semakin pendek waktu dengung, demikian pula sebaliknya. Tingkat kejelasan pembicaraan akan bernilai baik jika C50 lebih kecil atau sama dengan -2 dB. C80 merupakan rasio dalam dB

antara energi yang diterima pada 80 ms pertama dari signal yang diterima dan energi yang diterima sesudahnya. Batas ini ditujukan untuk kejelasan pada musik. Nilai C80 adalah nilai parameter yang terukur lebih dari 80 ms, semakin tinggi nilai C80 maka suara akan semakin tidak bagus.

e. TS (Centre Time)

TS merupakan waktu tengah antara suara datang (direct) dan suara pantul (early to late),

semakin tinggi nilai TS maka kejernihan suara akan semakin buruk. TS merupakan sebuah titik dimana energi diterima sebelum titik ini seimbang dengan energi yang diterima sesudah titik tersebut. TS sebagai pengukur sejauh mana kejelasan sebuah suara diterima oleh pendengar, di mana semakin rendah nilai TS semakin jelas suara yang diterima. Menurut Ribeiro (2002), parameter objektif berupa respon impuls ruang yang meliputi waktu dengung

(Reverberation Time), waktu peluruhan (Early Decay Time), D50 (Definition), C50, C80 (Clarity) dan TS (Centre Time) memiliki standar besaran optimum tertentu yang perlu diperhatikan

f. Parameter Subjektif

Parameter subjektif (berupa intimacy) merupakan impresi dalam kualitas bunyi yang seolah-olah sumber bunyi berada di dekat pendengar, atau disebut pula “presence”. Spaciousness atau envelopment merupakan kriteria

bunyi yang seolah-olah meliputi seluruh ruang dengan merata. Sedangkan fullness of tone merupakan karakter yang mudah dikenali dalam musik, berkaitan dengan kualitas bunyi yang dihasilkan oleh instrumen musik secara memuaskan, kualitasnya sangat ditentukan oleh waktu dengung. Overall impression merupakan penilaian rata-rata dari semua parameter yang penting. Kondisi akustik suatu pertunjukan perlu disesuaikan dengan karakter kebutuhan akustik bagi suatu pertunjukan. Untuk ruang yang

tidakterlalu besar, sampai dengan 2.800 m², perlakuan akustiknya tidak begitu berbeda.

Namun, untuk ruang yang lebih besar, pilihan waktu dengung yang tepat perlu dikompromikan. Apabila auditorium tidak dilengkapi oleh sistem penguat suara elektronik (elektro-akustik), sebaiknya jumlah penonton dibatasi sampai 1.000 orang. Bila ruang dilengkapi dengan sistem penguat suara elektronik, maka karakter akustik yang diinginkan dapat diatur dengan mudah, disesuaikan dengan waktu

dengung yang tepat untuk kebutuhan tertentu. Sistem tersebut dapat dipakai untuk mengubah dan menyesuaikan kondisi akustik yang dibutuhkan.

7. MEDIA PENYERAP VIBRASI

7.1 Karakteristik Media Penyerap Suara

Material memiliki reaksi yang berbeda terhadap bunyi dengan frekuensi yang berbeda. Pada umumnya material dengan nilai NRC di bawah 0.20 bersifat reflektif, sedangkan material dengan nilai NRC di atas 0.40 bersifat menyerap.

Tabel 2.2 Absorption coefficients and NRC values for common materials

Material	α_{125}	α_{250}	α_{500}	α_{1000}	α_{2000}	α_{4000}	NRC
Painted drywall	0.10	0.08	0.05	0.03	0.03	0.03	0.05
Plaster	0.02	0.03	0.04	0.05	0.04	0.03	0.05
Smooth concrete	0.10	0.05	0.06	0.07	0.09	0.08	0.05
Coarse concrete	0.36	0.44	0.31	0.29	0.39	0.25	0.35
Smooth brick	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07	0.05
Glass	0.05	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.05
Metal blinds	0.06	0.05	0.07	0.15	0.13	0.17	0.10
Thick panel	0.25	0.47	0.71	0.79	0.81	0.78	0.70
Light drapery	0.03	0.04	0.11	0.17	0.24	0.35	0.15
Heavy drapery	0.14	0.35	0.55	0.72	0.70	0.65	0.60
Helmholtz resonator	0.20	0.95	0.85	0.49	0.53	0.50	0.70
Ceramic tile	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.00
Linoleum	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.05
Carpet	0.05	0.05	0.10	0.20	0.30	0.40	0.15
Carpet on concrete	0.05	0.10	0.15	0.30	0.50	0.55	0.25
Carpet on rubber	0.05	0.15	0.13	0.40	0.50	0.60	0.30

Sumber : Architectural Design Guide, 2000

7.2. Jenis-jenis media penyerap suara

1. Bata : Merupakan blok bangunan modular, terbuat dari tanah liat, bersifat sebagai pereduksi udara yang sangat baik terutama

pada sistem dua paralel dibuat tanpa hubungan dengan adukan semen atau tanpa pelapis.

2. Beton : Material hasil campuran dari bahan air mempunyai daya yang kuat terhadap gaya tekan, digunakan untuk struktur slab atau dinding struktural. Beton merupakan pereduksi kebisingan udara yang sangat baik, dan tidak bersifat sebagai penyerap. Bila beton diberi celah udara dapat menyerap kebisingan

dengan lebih baik lagi.

3. Unit-unit blok beton : Digunakan sebagai modular bangunan, bersifat mereduksi bunyi dan sangat baik, tergantung pada berat dan tidak pada kepadatan blok beton.
4. Kaca : Merupakan bahan transparan dari silikat yang sangat ringan, dan bersifat sebagai pereduksi yang sangat baik terutama pada frekuensi menengah. Kualitas dapat ditingkatkan dengan sistem berlapis dan berfungsi sebagai

penyerap kebisingan tetapi beresiko pada resonansi frekuensi rendah.

5. Plywood : Jenis material ini tidak efektif untuk mereduksi bunyi kecuali bila digabung dengan material lain tetapi bila bentuknya tipis dapat menjadi penyerap yang kuat pada frekuensi rendah. Bahan plywood merupakan pemantul bunyi yang cukup baik.

6. Rangka baja : Merupakan material dengan banyak kemungkinan.

Susunan untuk menopang lantai atau atap sifatnya tidak mereduksi bunyi karena cukup kaku. Material baja berlubang yang dilengkapi dengan bahan penyerap seperti fiberglass, bersifat menyerap bunyi (NRC 0,5-0,9). Bahan yang banyak digunakan dalam sistem ekspos untuk mengurangi kebisingan dan dengung.

- 7.** Busa akustik : Merupakan material penyerap yang baik (NRC 0,25-0,9) sebagai bahan pengisi pada kursi teater sehingga dengan kosongnya penonton tidak akan mengakibatkan perubahan dengung dalam ruang.

8. Kaca laminasi : Penggabungan dua atau lebih lembar kaca dengan perekat. Jika dibandingkan dengan kaca tunggal, akan berfungsi sebagai pereduksi bunyi yang lebih baik.
9. Karpet : Jenis material yang berfungsi sebagai bahan absorbs ruang dalam bentuk elemen lantai dengan tingkat penyerapan tinggi. Keberhasilan fungsi ditentukan oleh tebal dan proporsi bahan

10. Tirai dan tenunan : Beberapa jenis kain yang berfungsi sebagai penyerap bunyi yang baik bila memiliki ($\pm 500 \text{ gr/m}^2$). Tirai yang ringan hanya memiliki NRC 0,2 dan tirai yang berat berat dapat memiliki NRC lebih dari 0,7.
11. Selimut berserat : Berupa fiberglass yang digunakan untuk dinding atau plafon ekspos, berfungsi mengabsorpsi bunyi serta mereduksi kebisingan dan dengung (NRC 0,9).

12. Papan berserat : Biasa digunakan untuk panel dinding atau plafon, merupakan material penyerap yang baik tergantung dari ketebalannya (NRC 0,75-0,9).

13. Semprotan berserat : Bersifat sebagai penyerap bunyi yang sangat baik dalam bentuk selimut atau papan, tergantung pada ketebalan, kepadatan dan diameter bahan.

14. Fiber mineral dan selulosa : Jenis bahan fiber yang sering digunakan sebagai ubin, selimut, papan atau semprotan untuk penyerap bunyi.

Gempa bumi merupakan salah satu bencana alam yang dapat mengakibatkan kerusakan besar pada struktur bangunan. Pada umumnya, gempa bumi terjadi karena ada pergerakan lempengan bumi di bawah tanah yang menyebabkan bagian permukaan bumi ikut bergetar. Tabrakan antara dua lempeng yang bersinggungan

akan menyebabkan gempa tektonik yang berpotensi buruk terhadap bangunan di permukaan bumi. Indonesia merupakan negara kepulauan yang terdiri dari belasan ribu pulau yang terbentang seluas hampir dua juta kilometer persegi. Lebih dari setengah jumlah pulau di Indonesia berada di atas cincin api pasifik atau dikenal juga dengan nama *Ring of Fire*, dimana lokasi tersebut dipenuhi dengan gunung api yang aktif. Tidak hanya itu, Indonesia terletak antara pertemuan tiga lempengan benua besar, yaitu lempeng Indo- Australia, Eurasia, dan lempeng Pasifik. Dua faktor ini menyebabkan Indonesia menjadi negara yang sangat rawan terhadap gempa bumi,

baik gempa vulkanik maupun gempa tektonik. Perancangan struktur bangunan di Indonesia harus dapat mengakomodasi getaran yang disebabkan oleh gempa - gempa tersebut. Proses desain bangunan dari teknik sipil konvensional pada umumnya hanya mengandalkan kekuatan struktur untuk menahan beban struktur. Pendekatan konvensional tersebut membutuhkan penggunaan material yang besar sehingga meningkatkan biaya konstruksi.

Seiring dengan meningkatnya risiko beban pada bangunan yang besar (seperti pengaruh angin atau gempa), maka tidak cukup hanya mengandalkan kekuatan struktur saja. Oleh karena itu, penelitian

mengenai teknik peredam getaran untuk bangunan sangat menarik untuk dikembangkan. Tidak hanya memperbolehkan desain bangunan yang lebih minimalis dan menghemat ruang, material yang digunakan untuk konstruksi juga bisa dihemat. Dalam rangka meminimalisasi dampak kerusakan dan kerugian yang dialami gedung akibat bencana alam (gempa) diperlukan sebuah pengendalian terhadap getaran yang dihasilkan gempa tersebut.

Pengendalian yang dapat diberikan kepada sebuah struktur adalah pengendalian getaran yang dialami struktur tersebut. Pengendalian ini dapat bersifat aktif, pasif,

semi-aktif, dan *hybrid*. Pengendalian pasif merupakan pengendalian yang tidak membutuhkan energi dari luar untuk menjalankannya, contohnya adalah TMD atau *Tuned Mass Damper*, dan *Base Isolation*. Teknik - teknik pengendalian tersebut bertujuan untuk meredam getaran yang terjadi secara dinamis pada bangunan.

8. Sistem Peredam Getaran Pada Struktur

8.1 Pendahuluan

Penelitian ini adalah untuk merancang sistem peredam (pendulum) gempa pada bangunan. Adapun tujuan penelitian berdasarkan rumusan masalah yang telah dibuat yaitu:

1. Mengurangi potensi kerusakan bangunan yang dialami karena gempa bumi.
2. Meningkatkan kesadaran rakyat Indonesia agar mengimplementasikan bangunan yang tahan gempa.
3. Meningkatkan ketahanan struktur

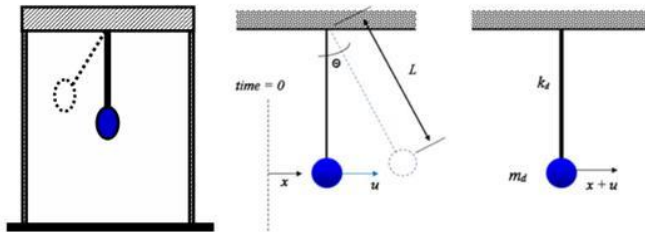
bangunan dalam menghadapi gempa bumi.

8.2 Tuned Mass Damper (TMD)

Tuned Mass Damper adalah sebuah perangkat kontrol struktural yang berfungsi untuk mengurangi amplitudo getaran struktural dan mekanikal yang dapat merusak bangunan. Ketika TMD diaplikasikan pada suatu struktur bangunan yang bergerak, maka TMD akan beresonansi dan menghasilkan energi yang kemudian dihamburkan ke lingkungan sebagai energi panas. Hal yang harus diperhatikan adalah bagaimana cara untuk menyesuaikan frekuensi *damper* dengan

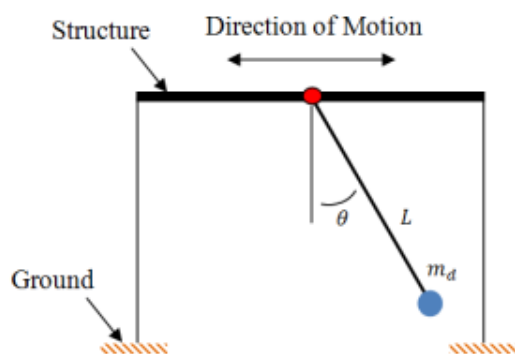
frekuensi natural sebuah struktur hingga mencapai mode eksitasi agar *damper* dapat meredam sejumlah getaran struktural. Konfigurasi TMD pasif yang paling sederhana terdiri dari massa, pegas, dan *damper*. Limitasi TMD pasif terletak pada ketidak tahanan sistem yang diakibatkan oleh kecilnya rentang frekuensi sehingga dapat mengganggu keseluruhan performa TMD, sehingga pengaturan frekuensi optimal sangat diperhatikan pada sistem TMD pasif. (Richard lourenco). TMD konvensional yang terdiri dari beban dan massa membutuhkan area yang luas untuk proses instalasi karena konsiderasi struktur. Pendulum TMD hadir sebagai solusi dalam mengatasi

permasalahan ini karena pendulum TMD terdiri dari beban dan kabel dan tidak terhubung menggunakan pegas pada struktur utama. Pendulum TMD ini akan menghasilkan gaya yang berlawanan arah dengan arah gaya di lantai. Pendulum TMD memiliki kelebihan lain ketika dipasang pada gedung yang tinggi, karena pengaturan frekuensinya dapat dilakukan dengan cara merubah panjang kabel. Salah satu contoh bangunan yang menggunakan pendulum TMD adalah Crystal Tower di Osaka, Jepang yang memiliki ketinggian 157 meter dan terdiri dari 37 lantai.



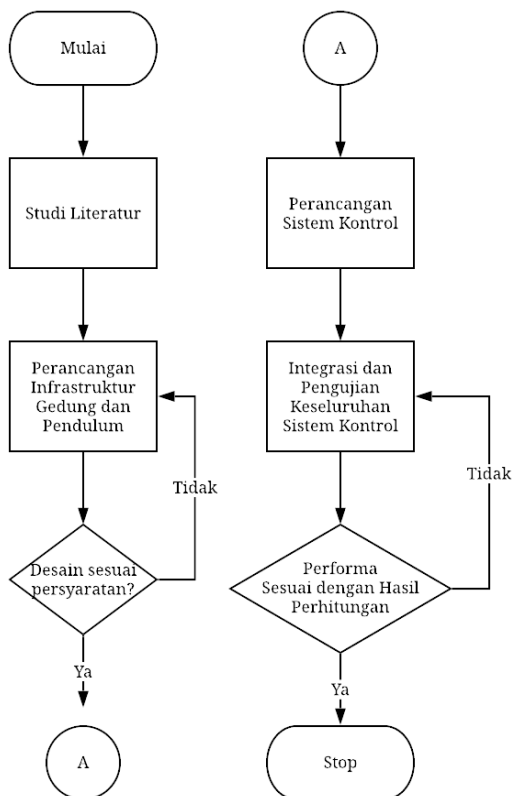
Gambar 8.1 Skematik Pendulum TMD

Fungsi utama desain PTMD berfokus kepada pengurangan defleksi lateral pada struktur. Alasan lain dalam penggunaan PTMD adalah biaya yang dikeluarkan lebih sedikit dibandingkan dengan TMD tradisional serta lebih tahan lama. Berikut merupakan contoh skematik dari PTMD (Lourenco 2011)



Gambar 8.2 Skematik PTMD

Diagram Alir Penelitian



Gambar 8.3 *Flowchart* Penelitian

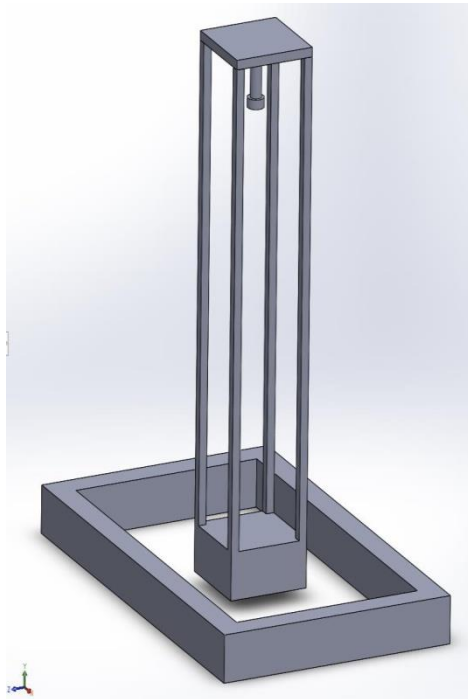
8.3 Rancang Sistem Peredam

Penelitian ini dimulai dengan studi literatur tentang beberapa penelitian terdahulu yang sudah mendiskusikan TMD untuk berbagai aplikasi, setelah melewati proses studi literatur, akhirnya ditetapkan bahwa akan dirancang sebuah peredam dalam bentuk TMD yang diaplikasikan untuk meredam getaran yang terjadi pada gedung. Setelah menetapkan fokus penelitian, penelitian dimulai dengan merancang infrastruktur gedung dan peredamnya. Desain daripada model gedung yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.3 dibawah. Material dasar yang digunakan untuk membuat konstruksi model gedung

adalah kayu balsa karena ringan, kuat, dan murah. Material yang digunakan untuk membuat peredamnya adalah besi dalam bentuk baut dan mur yang akan digantungkan pada bagian sisi bawah atap model gedung. Penerapan sistem kontrol yang diterapkan pada model adalah sistem kontrol pasif yang menggunakan *chip gyro* MPU 6050 sebagai modul pembacaan frekuensi dan amplitudo gerakan model gedung akibat gaya yang diberikan pada model. Pembacaan oleh *gyro* MPU 6050 akan terintegrasikan dengan mikrokontroler arduino uno yang akan diprogram dengan perangkat lunak *LabView*.

Detail perancangan sistem kontrol

pada *LabView* dapat dilihat pada bab pembahasan selanjutnya. Setelah model rancang bangun jadi dan sistem kontrol dapat diintegrasikan pada model gedung, selanjutnya akan dilakukan pengujian pada model gedung. Pengujian yang dilakukan adalah pemberian gaya pada arah bolak balik pada model gedung untuk memantau amplitudo yang terjadi pada model gedung, dengan 3 konfigurasi TMD yang berbeda, yang pertama tanpa beban, yang kedua beban di tengah, dan yang terakhir beban di ujung lengan. Setelah data didapat, data akan diolah kembali dan disesuaikan dengan teori dari studi literatur yang telah dilakukan sebelumnya.



Gambar 8.4 Desain 3D Model Bangunan

Rancang bangun untuk alat peraga pengendalian vibrasi menggunakan TMD ini terdiri dari dua komponen utama, yaitu

gedung dan penyangga. Penyangga akan dihubungkan ke gedung menggunakan karet sehingga saat penyangga digerakkan, gedung akan mengalami guncangan dengan skala yang lebih teratur karena sedikit diredam oleh karet. Gedung terdiri dari tiga komponen utama, yaitu lantai, tiang dan atap. Lantai gedung dilengkapi dengan roda untuk mengurangi gaya gesek antara gedung dan permukaan tanah, sehingga efek dari guncangan bisa terlihat dengan lebih mudah. Bagian atap gedung akan dilengkapi dengan peredam TMD serta sensor *gyro* untuk mengetahui guncangan yang terjadi pada bagian atas gedung.

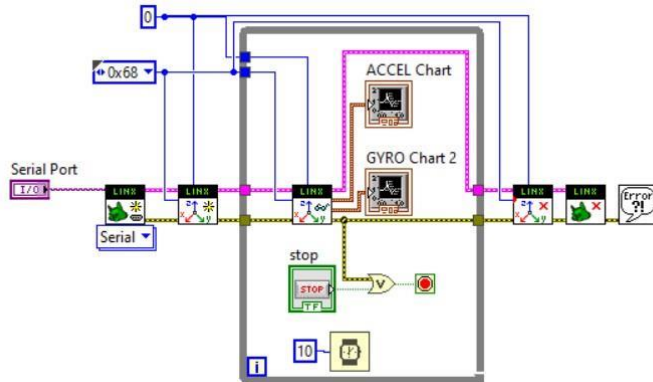
TMD yang digunakan pada alat peraga

ini terbuat dari sekrup logam yang berayun pada sumbu z. Tingkat kekakuan dari baut berayun dapat diatur menggunakan mur kecil untuk mengencangkan atau melonggarkan baut. Beban yang digunakan untuk melakukan tuning pada TMD menggunakan mur besar yang terpasang pada baut TMD. Untuk merubah lokasi dari mur pada lengan, mur hanya perlu diputar sesuai dengan ulir pada baut untuk menggerakkan mur naik atau turun. Sensor *gyro* diletakkan di bagian atas gedung dan terhubung ke komputer secara digital menggunakan mikrokontroler Arduino Uno. Pembacaan sensor *gyro* digunakan melalui antarmuka pengguna *LabView*, grafik sensor

gyro accelerometer dapat diamati secara *real time*.



Gambar 8.5 Rancang Bangun Model Gedung



Gambar 8.6 Skematik Rancangan Sistem Kontrol pada LabView

Dalam proses kontrol yang dilakukan dalam aplikasi *LabView*, pertama digunakan blok diagram LINX open untuk memilih input serial port tempat terhubungnya arduino dengan komputer, kemudian digunakan blok diagram khusus MPU6050 yang perlu

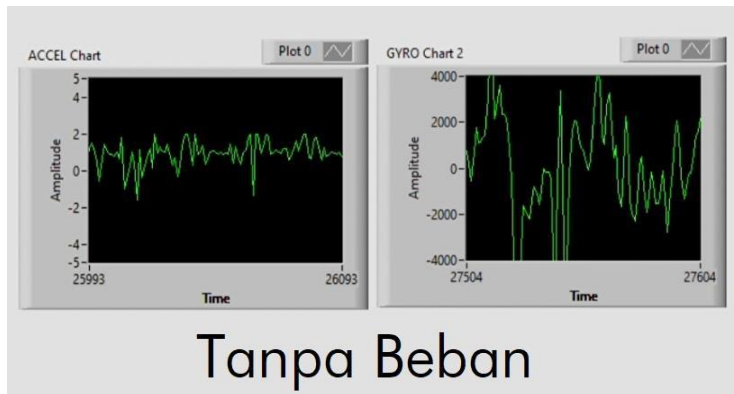
ditentukan channelnya sebagai 0 karena sebagai default akan membaca input SCL pada A5 dan SDA pada A4 dari board MPU6050 ke pin arduino, kemudian dari blok MPU6050 didapatkan data akselerasi dengan satuan per g atau per $9,8 \text{ m/s}^2$ dan juga data yang disebut data gyro, data gyro ini yang akan diamati pergerakannya untuk mendapatkan hasil yang optimal, dimana pergerakan sumbu dari gyro memiliki sumbu X,Y, dan Z namun untuk X dan Y tidak ditampilkan pada grafik agar dapat melihat data sumbu Z lebih jelas, kemudian sistem akan di stop ketika tombol stop ditekan atau terjadi error pada sistem.

Uji eksperimen dilakukan dalam tiga tahapan, yaitu percobaan tanpa menggunakan TMD, percobaan menggunakan TMD dengan beban di bagian tengah pendulum TMD, dan terakhir beban diletakkan pada bagian ujung bawah pendulum TMD. Berikut adalah hasil pengukuran dari *gyroscope* dan *accelerometer*

8.4.1 Model Gedung dengan TMD Tanpa Beban

Dapat diamati dari bahwa tanpa menggunakan TMD sama sekali, gedung mengalami guncangan yang sangat besar. Pada sebelah kanan gambar terlihat pergeseran gedung pada sumbu Z terjadi

secara signifikan.



Gambar 8.7 Tampilan Pengukuran Amplitudo

8.4.2 Model Gedung dengan TMD Beban Tengah

Setelah memberikan TMD kepada gedung, guncangan yang dialami mengalami penurunan. Pada grafik *gyro* di sebelah kanan dapat diamati bahwa terkadang muncul amplitudo yang tinggi dalam waktu singkat.

Hal ini kemungkinan disebabkan saat frekuensi dari gempa selaras dengan pergerakan dari TMD, sehingga efek peredam dari TMD tidak muncul dan gedung mengalami guncangan seperti tanpa ada TMD.

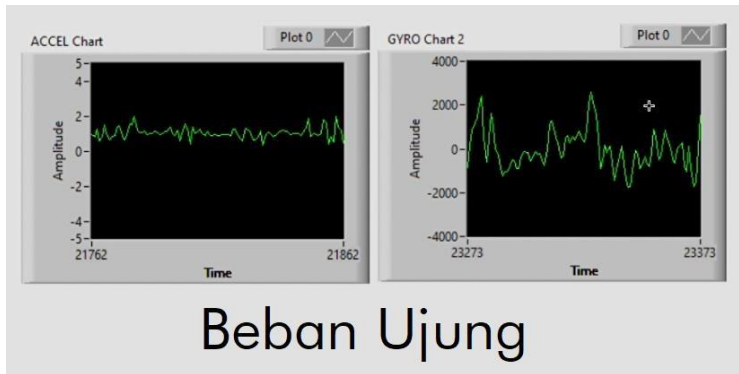


Gambar 8.8 Tampilan Pengukuran Amplitudo

TMD dari gedung berayun perlahan dan tidak terlalu jauh

8.4.3 Model Gedung dengan TMD Beban Ujung

Perubahan posisi beban pada TMD dari bagian tengah lengan menjadi ujung lengan mampu menurunkan guncangan yang dialami gedung lebih baik lagi. Menurut grafik *gyro* di sebelah kanan, amplitudo yang paling tinggi pun masih tidak terlalu besar dibandingkan dengan dua hasil sebelumnya. Pada konfigurasi ini, TMD gedung berayun cepat dengan jarak cukup jauh dibandingkan dengan konfigurasi beban tengah. Dengan ini dapat dinyatakan bahwa konfigurasi TMD dengan beban di ujung pendulum memberikan hasil yang paling baik.



Gambar 4.4 Tampilan Pengukuran Amplitudo

Proses penelitian telah berjalan dengan baik dan penelitian telah dilakukan tepat waktu. Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dijabarkan, maka kesimpulan yang dapat dirumuskan antara lain:

1. *Tuned Mass Damper* (TMD) yang dipasang pada model gedung dapat mengurangi besarnya gerakan

model yang diakibatkan terjadinya pergerakan pada dasar gedung.

2. TMD dengan beban yang terletak pada bagian tengah pendulum, dapat mengurangi amplitudo model ketika dasar model bergerak. TMD dengan beban yang terletak pada ujung, berhasil mengurangi amplitudo model secara signifikan.
3. Konfigurasi beban TMD yang lebih baik adalah konfigurasi beban yang berada pada ujung pendulum

Pada penelitian selanjutnya disarankan menggunakan kontrol aktif yang dapat merubah posisi beban pada TMD sehingga mendapatkan hubungan antara

panjang beban dengan besarnya amplitudo yang diredam. *Graphical user interface* (GUI) yang digunakan sebaiknya dapat memuat lebih banyak informasi, hal ini bertujuan untuk dapat mengetahui nilai yang diukur secara *real time* secara bersamaan.

Daftar Pustaka

[1] Fernando dos S. Oliveira, José L. V. de Brito, Suzana M. Avila. "Design Criteria For A Pendulum Absorber To Control High Building Vibrations." Lisbon: 11th International Conference on Vibration Problems, 2013.

[2] Lourenco, Richard. "Design, Construction and Testing of an Adaptive Pendulum Tuned Mass Damper." Ontario: University of Waterloo, 2011.

[3] Mariantonieta Gutierrez Soto, Hojjat Adeli. "Tuned Mass Damper." *Computational Methods in Engineering* 20 (2013): 419-431.

[4] Scheaua, Fanel. "Friction Pendulum Dampers for Earthquake Isolated

Structural Systems." *RJAV IX*, no. 1 (2012): 29-32.

[5] Taliat Azizov, Nadzieja Jurkowska. "Improved technique for the earthquake proof suspension bulding." *Journal Of Measurements In Engineering* 6, no. 4 (2018): 196-202.

[6] Unal Aldemir, Arcan Yanik, Mehmet Bakioglu. "Control of Structural Response Under Earthquake Excitation." *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* 27 (2012): 620-638.

[7] Vickery, Rafik R. Gerges and Barry j. "Optimum Design of Pendulum-Type Tuned Mass Dampers." *the structural design of tall and special buildings* 14 (2005): 353-368.

9. PENDETEKSI GEMPA BUMI BERBASIS ARDUINO UNO

9.1 Pendahuluan

Gempa bumi adalah getaran dalam bumi yang terjadi sebagai akibat dari terlepasnya energi yang terkumpul secara tiba-tiba dalam batuan yang mengalami deformasi[1]. Indonesia termasuk dalam negara yang sering dilanda bencana gempa bumi. Musibah gempa bumi sangat rawan terjadi dan dapat menimbulkan kerugian materil dan korban jiwa yang ditimbulkan oleh musibah ini, maka dibentuklah sebuah organisasi yang bertugas untuk mengawasi dan memberi peringatan dini terjadinya musibah gempa bumi[2].

Berbagai usaha bisa dilakukan untuk meminimalisir dampak gempa bumi, seperti sosialisasi penyelamatan gempa bumi, pembuatan bangunan tahan gempa dan perancangan alarm gempa bumi. Alarm gempa bumi sebaiknya ada di rumah dan kantor, sehingga dapat memberikann peringatan bila terjadi gempa bumi[3].

Pada penelitian ini kami membuat alarm pendeteksi gempa bumi sederhana untuk digunakan di rumah sebagai indikator pemberitahuan terjadinya bencana gempa bumi., agar membantu masyarakat umum untuk lebih waspada sehingga masyarakat dapat bergegas keluar rumah jika alarm

gempa ini berbunyi[3].

Tujuan dilakukan penelian ini adalah sebagai berikut :

1. Membuat/merancang alat pendeteksi gempa bumi dengan sensor SW-420 sebagai pendeteksi getaran gempa bumi.
2. Memonitor getaran yang diterima bangunan menggunakan sensor SW-420 selama 5 menit dengan 5 getaran

9.2 Gempa Bumi

Gempa bumi adalah getaran atau guncangan yang terjadi di permukaan bumi yang disebabkan oleh tumbukan antar

lempeng bumi, patahan aktif, aktivitas gunung api atau runtuh batuan secara tiba-tiba yang menciptakan gelombang seismik[BNPB]. Gempa bumi biasanya disebabkan oleh pergerakan kerak bumi (lempeng bumi). Frekuensi suatu wilayah, mengacu pada jenis dan ukuran gempa bumi yang dialami selama satu periode waktu. Gempa bumi diukur dengan menggunakan alat seismometer. Momen magnitudo adalah skala yang paling umum dimana gempa bumi terjadi untuk seluruh dunia. Skala rickter adalah skala yang dilaporkan oleh observatorium seismologi nasional yang dikuru pada skala besarnya lokal 5 magnitude. Kedua skala yang sama

selama rentang angka mereka valid. Gempa 3 magnitude atau lebih sebagian besar hampir tidak terlihat dan besar nya 7 lebih berpotensi menyebabkan kerusakan serius di daerah yang luas, tergantung pada kedalaman gempa. Jenis bencana ini bersifat merusak, dapat terjadi disetiap saat dan berlangsung dalam waktu yang singkat. Gempa bumi dapat menghancurkan bangunan, jalan, jembatan, dan sebagainya dalam waktu sekejap[4].

Ancaman bahaya gempa bumi tersebar hampir diseluruh wilayah Kepulauan Indonesia, baik dalam skala kecil hingga skala besar yang merusak. Wilayah yang rawan bencana gempa bumi di Indonesia

tersebar mulai dari Provinsi Aceh, Sumatera Utara, Sumatra Barat, Bengkulu, Lampung, Jawa Barat, Daerah Istimewa Yogyakarta, Jawa Tengan, Jawa Timur, Bali, Nusa Tenggara, Pulau Sulawesi, Kepulauan Maluku, Maluku Utara dan wilayah Papua[5].

Penyebab gempa bumi dapat berupa dinamika bumi (tektonik), aktivitas gunungapi, akibat meteor jatuh, longsor (dibawah permukaan laut). Gempa bumi tektonik merupakan gempa bumi yang paling umum terjadi, merupakan getaran yang dihasilkan dari peristiwa pematahan batuan akibat benturan dua lempeng secara perlahan-lahan yang menjadi akumulasi energi. Benturan tersebut melampaui kekuatan batuan[6].

Gempa bumi mempunyai karakteristik yang khas, yaitu :

- a. Gempa bumi tidak dapat dicegah.
- b. Peristiwanya sangat mendadak dan mengejutkan.
- c. Waktu terjadinya tidak dapat diprediksi (diperkirakan) secara cepat atau akurat oleh siapapun, termasuk pakar-pakar gempa.

9.3 Arduino Uno

Arduino uno adalah board mikrokontroller berbasis Atmega 328 (datasheet). Memiliki 14 pin input dari output digital dimana 6 pin input tersebut dapat

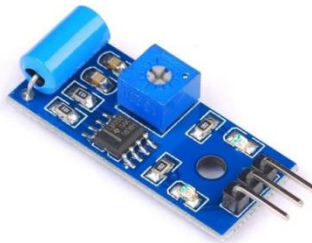
digunakan sebagai output PWM dan 6 pin input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, jack power, ICSP header, dan tombol reset. Pada Arduino terdapat dua buah jenis pin, yaitu analog dan digital. Pin digital memiliki dua buah nilai yang dapat ditulis kepadanya yaitu High (1) dan Low (0)[7].



Gambar 9.1 Arduino Uno

9.4 Sensor Module SW-420

Sensor module SW-420 adalah sensor untuk mendeteksi getaran, cara kerja sensor ini adalah dengan menggunakan 1 buah pelampung logam yang akan bergetar ditabung yang berisi 2 elektroda ketika modul sensor menerima getaran/shock. Terdapat 2 output yaitu digital output (0 dan 1) dan analog output (tegangan)[8]



Gambar 9.2 Sensor SW-420

9.4 Sistem Peredam

Dalam Penelitian Rancang Bangun menggunakan arduino uno dan sensor sw-420 dilakukan tahapan penelitian sebagai berikut :

9.4 Perancangan Alat

Tahapan persiapan dimulai dengan melakukan analisis alat dan bahan yang dibutuhkan untuk pembuatan Pendeteksi Gempa Bumi Berbasis Arduino UNO dengan sensor getaran (SW-420) . Adapun alat dan bahan yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

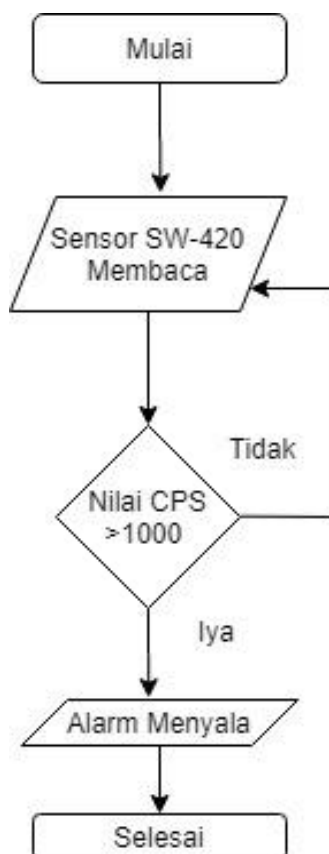
- Sensor Getaran (SW-420)
- Mikrokontroler Arduino

- Project board
- Kabel
- Maket rumah

Sistem monitoring yang dibuat berdasarkan variabel sensor getaran yang akan diteliti. Adapun variabel yang akan diteliti adalah CPS (*cycle per second*.) Sensor getaran digunakan untuk membaca nilai getaran.

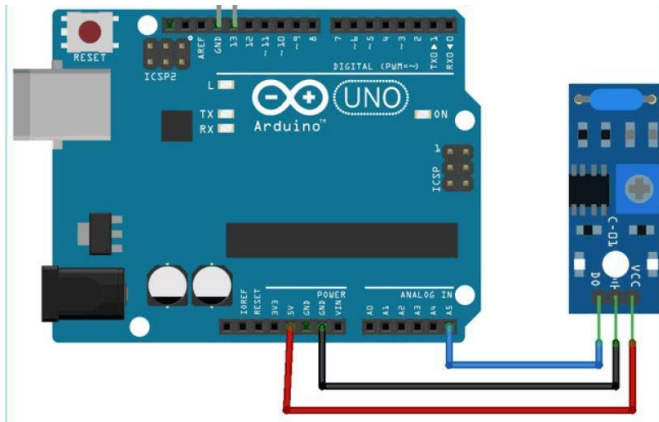
Perancangan Alat Konsep dari penelitian ini adalah perancangan sensor SW-420 untuk mendeteksi gempa bumi pada maket rumah.

Dari variabel penelitian tersebut, kemudian dibuat suatu *flowchart* yang menggambarkan prinsip kerja alat Pendeteksi Gempa Bumi Berbasis Arduino UNO dengan sensor getaran (SW-420) .Adapun *flowchart* cara kerja alat tersebut adalah.

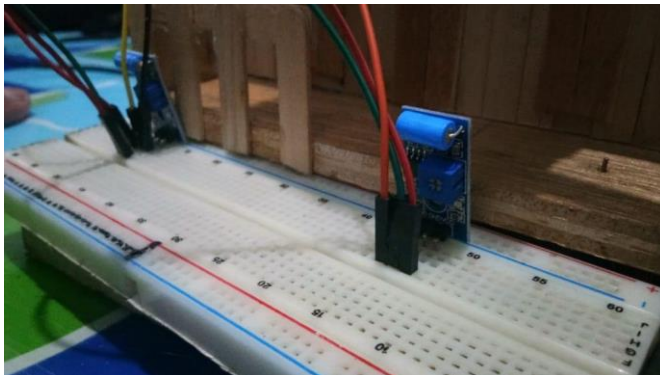


Gambar 9. 3 Diagram Cara Kerja Alat

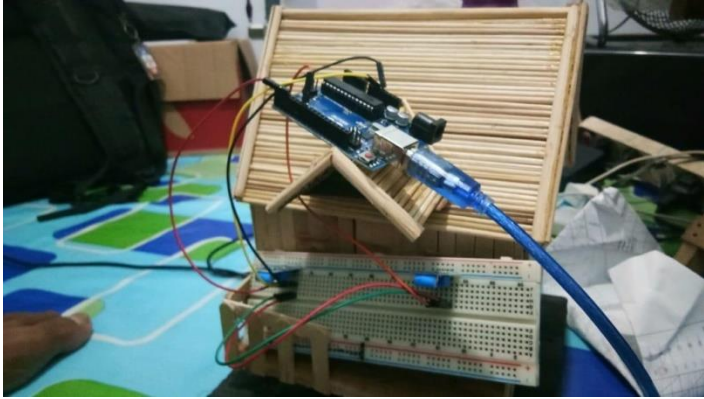
Dalam Penelitian rancang bangun pendeteksi gempa bumi arduino menggunakan sensor sw-420 akan membaca getaran yang diberikan. Monitor akan menampilkan pembacaan di layar dalam 1 kali getaran selama 1 menit. Apabila getaran yang diterima oleh sensor melebihi 1000 CPS maka alarm akan menyala dan monitor akan menampilkan tulisan *alert* (peringatan). Penelitian ini menggunakan 5 kali getaran gempa dalam satuan menit.



Gambar 9.5 Wiring Diagram Pada Arduino



Gambar 9.6 Rangkaian Project Board 1



Gambar 9.7 Rangkaian Project Board 2



Gambar 9.8 Rangkaian Project Board 3

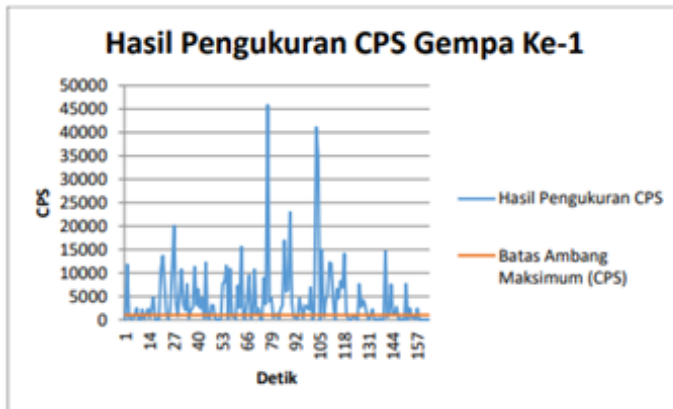
9.4 Hasil Rancangan Sistem Peredam

Dalam Penelitian Rancang Bangun Pendeteksi Gempa Bumi berbasis Arduino UNO pengukuran getaran yang diberikan selama 60 detik untuk 5 kali getaran (5 gempa). Alat pendeteksi gempa bumi dipasang di mini maket rumah terhubung dengan PC. Didapatkan hasil penelitian sebagai berikut:

1. Pengukuran CPS Gempa Ke-1

Pada Gambar 4.1 Pengukuran gempa ke-1 selama 1 menit diberikan getaran atau guncangan pada maket rumah. Hasil yang didapatkan getaran terbaca dalam satuan CPS (*cycle per second*).

Dalam Gambar 9.9 Nilai CPS tertinggi terbaca pada 45000 CPS yaitu merupakan guncangan terbesar yang diterima oleh sensor SW-420 selama 1 menit.

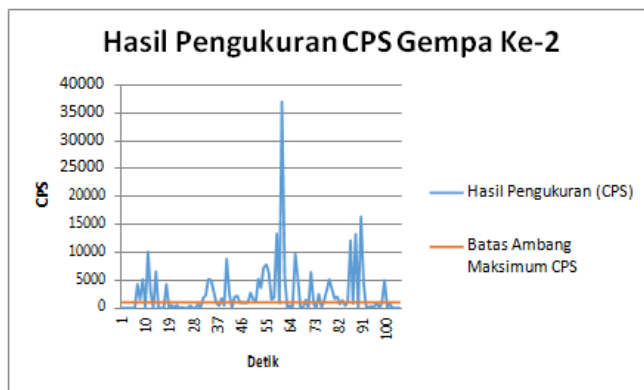


Gambar 9.9 Hasil Pengukuran CPS Gempa Ke-1

Serial monitor akan memberikan alarm berupa tulisan *alert* apabila getaran melebihi batas CPS yang dipasang pada arduino yaitu 1000 CPS. Apabila getaran yang diberikan dibawah 1000 CPS maka nilai

nya dianggap masih dalam kondisi aman.

2. Pengukuran CPS Gempa Ke-2



Gambar 9.10 Hasil Pengukuran CPS Gempa Ke-2

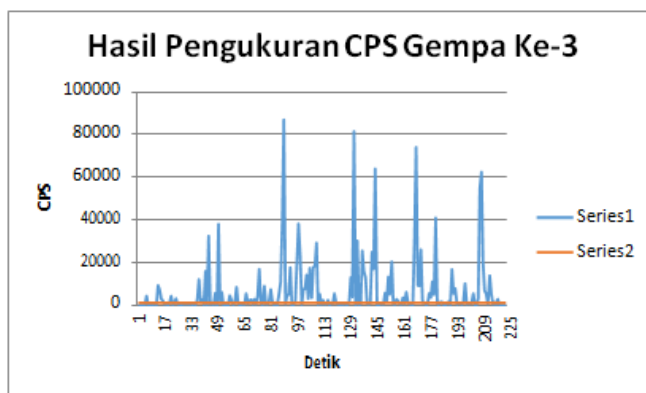
Pada Gambar 9.10 Pengukuran gempa ke-2 selama 1 menit diberikan getaran atau guncangan pada maket rumah. Hasil yang didapatkan getaran terbaca dalam satuan CPS (*cycle per second*). Dalam

Gambar 9.10 Nilai CPS tertinggi terbaca pada 35000 CPS yaitu merupakan guncangan terbesar yang diterima oleh sensor SW-420 selama 1 menit. Serial monitor akan memberikan alarm berupa tulisan *alert* apabila getaran melebihi batas CPS yang dipasang pada arduino yaitu 1000 CPS. Apabila getaran yang diberikan dibawah 1000 CPS maka nilainya dianggap masih dalam kondisi aman.

3. Pengukuran CPS Gempa Ke-3

Pada Gambar 9.11 Pengukuran gempa ke-3 selama 1 menit diberikan getaran atau guncangan pada maket rumah. Hasil yang didapatkan getaran terbaca dalam satuan

CPS (*cycle per second*).



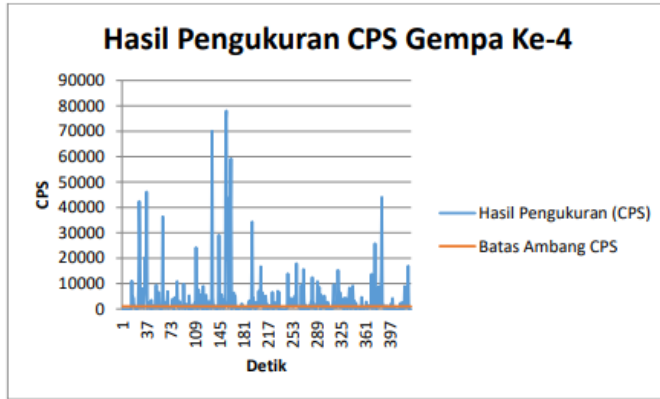
Gambar 9.11 Hasil Pengukuran CPS Gempa Ke-3

Dalam Gambar 9.11 Nilai CPS tertinggi terbaca pada 88000 CPS yaitu merupakan guncangan terbesar yang diterima oleh sensor SW-420 selama 1 menit. Serial monitor akan memberikan alarm berupa tulisan *alert* apabila getaran melebihi batas CPS yang dipasang pada arduino yaitu 1000

CPS. Apabila getaran yang diberikan dibawah 1000 CPS maka nilainya dianggap masih dalam kondisi aman.

4. Pengukuran CPS Gempa Ke-4

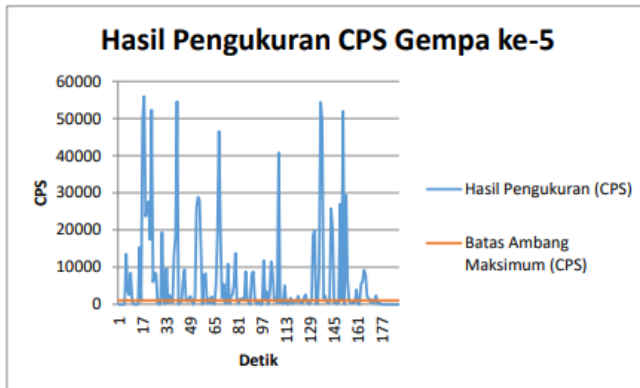
Pada Gambar 4.4 Pengukuran gempa ke-4 selama 1 menit diberikan getaran atau guncangan pada maket rumah. Hasil yang didapatkan getaran terbaca dalam satuan CPS (*cycle per second*). Dalam Gambar 4.4 Nilai CPS tertinggi terbaca pada 88000 CPS yaitu merupakan guncangan terbesar yang diterima oleh sensor SW-420 selama 1 menit.



Gambar 9.12 Hasil Pengukuran CPS Gempa Ke-4

Serial monitor akan memberikann alarm berupa tulisan *alert* apabila getaran melebihi batas CPS yang dipasang pada arduino yaitu 1000 CPS. Apabila getaran yang diberikan dibawah 1000 CPS maka nilai nya dianggap masih dalam kondisi aman.

5. Pengukuran CPS Gempa Ke-5



Gambar 9.13 Hasil Pengukuran CPS Gempa Ke-2

Pada Gambar 9.12 Pengukuran gempa ke-5 selama 1 menit diberikan getaran atau guncangan pada maket rumah. Hasil yang didapatkan getaran terbaca dalam satuan CPS (*cycle per second*). Dalam Gambar 4.5 Nilai CPS tertinggi terbaca pada 57000 CPS yaitu merupakan guncangan

terbesar yang diterima oleh sensor SW-420 selama 1 menit. Serial monitor akan memberikann alarm berupa tulisan *alert* apabila getaran melebihi batas CPS yang dipasang pada arduino yaitu 1000 CPS. Apabila getaran yang diberikan dibawah 1000 CPS maka nilai nya dianggap masih dalam kondisi aman.

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Telah dibuat alat untuk pendeteksi gempa bumi berbasis arduino uno menggunakan sensor sw-420 untuk maket rumah.
2. Hasil pengujian alat disimpulkan bahwa sensor sw-420 dapat

menerima dengan baik getaran yang diberikan selama 1 menit pada 5 kali getaran gempa. setiap Getaran setiap detik dicatat dalam satuan CPS dengan pemasangan alarm pada pemrograman ketika getaran melebihi 1000 CPS. Hasil pengujian alat.

Saran dari penelitian ini didapatkan dari hasil batasan dan pengkajian. Untuk penelitian selanjutnya diusahakan untuk mendesain sendiri bentuk maket rumah yang akan digunakan dan memperdalam parameter pengujian yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Afriani F., 2010, Design Sistem Peringatan Dini Gempa Bumi Menggunakan Sensor Efek Hall UGN3503 berbasis Mikrokontroler ATMEGA8535, Skripsi, FMIPA, UNP.

[2] Musta'an M.K., 2011, Sensor Posisi Faraday Untuk Pendeteksi Dini Gempa Pada Gedung , Skripsi, F. Teknik, Universitas Islam Indonesia.

[3] Noor, Djauhari, 2006. Geologi Lingkungan, Gaha Ilmu, Jogjakarta.

[4] Novianta M.A., 2012, Sistem Deteksi Dini Gempa Dengan Piezo Elektrik Berbasis Mikrokontroler At89c51, Simposium Nasional RAPI XI FT UMS – 2012, E-97, Jurusan Teknik Elektro Institut Sains &

Teknologi AKPRIND Yogyakarta.

[5] Guntara, F., 2014, Rancang Bangun Prototipe Spbu-Mini Berbasis Mikrokontroler Atmega8535 dengan Keluaran Berdasarkan Nilai Masukan dalam Rupiah, Skripsi, FMIPA, UNAND, Padang.

[6] Mulyono, H . 2013. Prototype Sistem Pendeteksi Gempa Untuk Rumah/Kantor Berbasis Mikrokontroler Menggunakan Sensor MMA7260Q. Jurnal Teknologi Informasi Dan Pendidikan UNILA 6(2):153-167.

[7] Republik Indonesia, 2007. PERDA Sumbar No.5 Tahun 2007 Tentang Penanggulangan Bencana.

[8] Jurnal Informatika, "Pembangunan Prototipe Sistem Pengendalian Peralatan Dengan Arduino Uno," Itenas Library, 2013.

[9] Nahdhatul Fauziyyah, 2017, Prototype Pendeteksi Getaran Gempa Menggunakan Arduino UNO dan Vibration Sensor, Balikpapan.

[10] F. Sirait, "Sistem Monitoring Keamanan Gedung berbasis Raspberry Pi," Jurnal Teknologi Elektro, Universitas Mercu Buana , 2015.

10. KEBISINGAN LINGKUNGAN

10.1 konsep kebisingan

Kebisingan adalah suara ditempat kerja berubah menjadi salah satu bahaya kerja (occupational hazard) saat keberadaannya dirasakan mengganggu atau tidak diinginkan secara fisik (menyakitkan pada telinga pekerja) dan psikis (mengganggu konsentrasi dan kelancaran komunikasi) yang akan menjadi polutan bagi lingkungan, sehingga kebisingan didefinisikan sebagai polusi lingkungan yang disebabkan oleh suara (Sihar Tigor B.T., 2005). Kebisingan adalah semua suara

yang tidak dikehendaki yang bersumber dari alat-alat proses produksi dan atau alat-alat kerja yang pada tingkat tertentu dapat menimbulkan gangguan pendengaran (PER.13/MEN/X/2011).

Suara adalah sensasi yang sewaktu vibrasi longitudinal dari molekul-molekul udara, yang berupa gelombang mencapai membrana timpani dari telinga (Perhimpunan Ahli Telinga, Hidung, dan Tenggorokan Indonesia, 1985). Tambunan (2005), menyatakan bahwa dalam konteks keselamatan dan kesehatan kerja, pembahasan suara (sound) agak berbeda dibandingkan pembahasan-pembahasan suara dalam

ilmu fisika murni maupun fisika terapan. Dalam K3, pembahasan suara lebih terfokus pada potensi gelombang suara sebagai salah satu bahaya lingkungan potensial bagi pekerja di tempat kerja beserta teknik-teknik pengendaliannya. Kebisingan adalah bunyi yang tidak diinginkan dari usaha atau kegiatan dalam tingkat dan waktu dan tertentu yang dapat menimbulkan gangguan kesehatan manusia dan kenyamanan lingkungan (Kepmen LH No 48. tahun 1996). Menurut Suma'mur (2009), bunyi atau suara didengar sebagai rangsangan pada sel saraf pendengaran dalam telinga oleh gelombang longitudinal yang

ditimbulkan getaran dari sumber bunyi atau suara dan gelombang tersebut merambat melalui media udara atau penghantar lainnya, dan manakala bunyi atau suara tersebut tidak dikehendaki oleh karena mengganggu atau timbul diluar kemauan orang yang bersangkutan, maka bunyi-bunyian atau suara demikian dinyatakan sebagai kebisingan. Kebisingan didefinisikan sebagai bunyi yang tidak dikehendaki. Bising menyebabkan berbagai gangguan terhadap tenaga kerja, seperti gangguan fisiologis, gangguan psikologis, gangguan komunikasi dan ketulian, atau ada yang menggolongkan gangguannya berupa

gangguan pendengaran, misalnya gangguan terhadap pendengaran dan gangguan pendengaran seperti komunikasi terganggu, ancaman bahaya keselamatan, menurunnya performa kerja, kelelahan dan stres.

Jenis pekerjaan yang melibatkan paparan terhadap kebisingan antara lain pertambangan, pembuatan terowongan, mesin berat, penggalian (pengeboman, peledakan), mesin tekstil, dan uji coba mesin jet. Bising dapat didefinisikan sebagai bunyi yang tidak disukai, suara yang mengganggu atau bunyi yang menjengkelkan. Suara bising adalah suatu hal yang dihindari oleh siapapun,

lebih-lebih dalam melaksanakan suatu pekerjaan, karena konsentrasi pekerja akan dapat terganggu. Dengan terganggunya konsentrasi ini maka pekerjaan yang dilakukan akan banyak timbul kesalahan ataupun kerusakan sehingga akan menimbulkan kerugian (Anizar, 2009).

Frekuensi kebisingan juga penting dalam menentukan perasaan yang subjektif, namun bahaya di area kebisingan tergantung pada frekuensi bising yang ada (Ridley, 2003). Menurut Harrianto (2008), tuli dapat disebabkan oleh tempat kerja

yang terlalu bising. Yang dimaksud dengan “tuli akibat kerja” yaitu gangguan pendengaran parsial atau total pada satu atau kedua telinga yang didapat di tempat kerja. Termasuk dalam hal ini adalah trauma akustik.

10.2 Jenis-jenis kebisingan

Menurut Buchari (2007), kebisingan dibagi menjadi 4 jenis yaitu :

1. Kebisingan yang kontinyu dengan spektrum frekuensi yang luas, misalnya mesin- mesin, dapur pijar, dan lain-lain.
2. Kebisingan yang kontinyu dengan

spektrum frekuensi yang sempit, misalnya gergaji serkuler, katup gas, dan lain-lain.

3. Kebisingan terputus-putus (intermittent/interupted noise) adalah kebisingan dimana suara mengeras dan kemudian melemah secara perlahan-lahan, misalnya lalu-lintas, suara kapal terbang di lapangan udara.

Berdasarkan pengaruhnya terhadap manusia, bising dibagi atas:

1. Bising yang mengganggu (irritating noise). Intensitas tidak terlalu keras, misalnya mendengkur.

2. Bising yang menutupi (masking noise). Merupakan bunyi yang menutupi pendengaran yang jelas. Secara tidak langsung bunyi ini akan mempengaruhi kesehatan dan keselamatan pekerja, karena teriakan isyarat atau tanda bahaya tenggelam dari bising dari sumber lain.

3. Bising yang merusak (damaging/injurious noise), adalah bunyi yang melampaui NAB. Bunyi jenis ini akan merusak/menurunkan fungsi pendengaran.

10.3. Pengukuran Kebisingan

Untuk mengukur kebisingan di lingkungan kerja dapat dilakukan dengan menggunakan alat Sound Level Meter. Sebelumnya, intensitas bunyi adalah jumlah energi bunyi yang menembus tegak lurus bidang per detik.

Metode pengukuran akibat kebisingan di lokasi kerja, yaitu:

1) Pengukuran dengan titik sampling

Pengukuran ini dilakukan bila kebisingan diduga melebihi ambang batas hanya pada satu

atau beberapa lokasi saja. Pengukuran ini juga dapat dilakukan untuk mengevaluasi kebisingan yang disebabkan oleh suatu peralatan sederhana, misalnya kompresor/generator. Jarak pengukuran dari sumber harus dicantumkan, misal 3 meter dari ketinggian 1 meter. Selain itu juga harus diperhatikan arah mikrofon alat pengukur yang digunakan.



Gambar 9.1 Sound Level Meter

2) Pengukuran dengan peta kontur

Pengukuran dengan membuat peta kontur sangat bermanfaat dalam mengukur kebisingan, karena peta tersebut dapat menentukan gambar tentang kondisi kebisingan

dalam cakupan area. Pengukuran ini dilakukan dengan membuat gambar isopleth pada kertas berskala yang sesuai dengan pengukuran yang dibuat. Biasanya dibuat kode pewarnaan untuk menggambarkan keadaan kebisingan, warna hijau untuk kebisingan dengan intensitas di bawah 85 dBA, warna oranye untuk tingkat kebisingan yang tinggi di atas 90 dBA, warna kuning untuk kebisingan dengan intensitas antara 85–90 dBA.

Daftar Pustaka

[1] Fernando dos S. Oliveira, José L. V. de Brito, Suzana M. Avila. "Design Criteria For A Pendulum Absorber To Control High Building Vibrations." Lisbon: 11th International Conference on Vibration Problems, 2013.

[2] Lourenco, Richard. "Design, Construction and Testing of an Adaptive Pendulum Tuned Mass Damper." Ontario: University of Waterloo, 2011.

[3] Mariantonieta Gutierrez Soto, Hojjat Adeli. "Tuned Mass Damper." *Computational Methods in Engineering* 20 (2013): 419-431.

[4] Scheaua, Fanel. "Friction Pendulum Dampers for Earthquake Isolated

Structural Systems." *RJAV IX*, no. 1 (2012): 29-32.

[5] Taliat Azizov, Nadzieja Jurkowska. "Improved technique for the earthquake proof suspension bulding." *Journal Of Measurements In Engineering* 6, no. 4 (2018): 196-202.

[6] Unal Aldemir, Arcan Yanik, Mehmet Bakioglu. "Control of Structural Response Under Earthquake Excitation." *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* 27 (2012): 620-638.

[7] Vickery, Rafik R. Gerges and Barry j. "Optimum Design of Pendulum-Type Tuned Mass Dampers." *the structural design of tall and special buildings* 14 (2005): 353-368.

[8] Afriani F., 2010, Design Sistem

Peringatan Dini Gempa Bumi
Menggunakan Sensor Efek Hall UGN3503
berbasis Mikrokontroler ATMEGA8535,
Skripsi, FMIPA, UNP.

[9] Musta'an M.K., 2011, Sensor Posisi Faraday Untuk Pendeteksi Dini Gempa Pada Gedung , Skripsi, F. Teknik, Universitas Islam Indonesia.

[10] Noor, Djauhari, 2006. Geologi Lingkungan, Gajah Ilmu, Yogyakarta.

[11] Novianta M.A., 2012, Sistem Deteksi Dini Gempa Dengan Piezo Elektrik Berbasis Mikrokontroler At89c51, Simposium Nasional RAPI XI FT UMS – 2012, E-97, Jurusan Teknik Elektro Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta.

[12] Guntara, F., 2014, Rancang

Bangun Prototipe Spbu-Mini Berbasis Mikrokontroler Atmega8535 dengan Keluaran Berdasarkan Nilai Masukan dalam Rupiah, Skripsi, FMIPA, UNAND, Padang.

[13] Mulyono, H . 2013. Prototype Sistem Pendeteksi Gempa Untuk Rumah/Kantor Berbasis Mikrokontroler Menggunakan Sensor MMA7260Q. Jurnal Teknologi Informasi Dan Pendidikan UNILA 6(2):153-167.

[14] Republik Indonesia, 2007. PERDA Sumbar No.5 Tahun 2007 Tentang Penanggulangan Bencana.

[15] Jurnal Informatika, "Pembangunan Prototipe Sistem Pengendalian Peralatan Dengan Arduino Uno," Itenas Library, 2013.

[16] Nahdhatul Fauziyyah, 2017, Prototype Pendeteksi Getaran Gempa

Menggunakan Arduino UNO dan Vibration Sensor, Balikpapan.

[17] F. Sirait, "Sistem Monitoring Keamanan Gedung berbasis Rasberry Pi," Jurnal Teknologi Elektro, Universitas Mercu Buana , 2015.

Tentang Penulis



Erna Kusuma Wati lahir di Sukoharjo 22 Januari 1989. Merupakan Alumni SMA Negeri 1 Klaten yang menyelesaikan Studi Pendidikan Fisika dari Fakultas MIPA Universitas Negeri Yogyakarta (2010), Master of Science ilmu Fisika dari Universitas Gadjah Mada Yogyakarta (2013). Saat ini merupakan Dosen aktif di Program Studi Teknik Fisika Universitas Nasional, Jakarta.

ISBN 978-623-7376-75-0

