

STUDI GETARAN EKSPERIMENTAL ENGINE SILINDER TUNGGAL MOTOR YAMAHA MT-11

Rizky Arman

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Bung Hatta
Jl. Gajah Mada No.19, Olo Nanggalo Padang-25143
Telp. (0751) 54257 Fax (0751) 51341
e-mail: rizky_arman@yahoo.com

Abstract

To analyze behavior of dynamic system in vibration testing is observed from its response about stimulus working on it. The specific relation of stimulus-response is known as frequency response or transfer function that related on their location and direction. Frequency Response Function (FRF) of a structure where stimulus force subjected is measured by transducer. Accelerometer, a type of vibration sensor (transducer) is utilized in this experimental setup. Different gain of mass acceleration conducted by stimulus force on cylinder engine, will impact to proportional frequency gain. It is important to determine the natural frequency of a system according to known the dynamic behavior. Voltage signals from accelerometer then converted to frequency in time domain which also convert analog to digital signal by Multi Signal Analyzer (MSA) before analyzed to get shape of coherences, peak of amplitude or just a noise signal in various rpm of engine.

Keyword: vibration testing, frequency response function (FRF), MSA, dynamic behavior.

1. Pendahuluan

Dalam analisis getaran secara eksperimental maka perilaku dinamik sistem getaran diamati dari respon sistem tersebut terhadap stimulus yang bekerja padanya. Dalam hal ini hubungan antara stimulus pada suatu lokasi tertentu dan arah yang tertentu berhubungan secara spesifik dengan respon pada lokasi dan arah tertentu pula. Hubungan antara stimulus dengan respon dinamai sebagai fungsi respon frekuensi atau lebih dikenal sebagai transfer.

Dalam pengukuran fungsi transfer (FRF : Fungsi Respon Frekuensi) stimulus pada struktur diberikan dalam bentuk gaya eksitasi sedangkan pengukuran respon getaran tergantung jenis sensor (transducer) yang digunakan.

Setiap bagian komponen yang bergerak akan menimbulkan gesekan. Pada asumsi awal gesekan tergantung pada bahan (material), kecepatan geseran, luas permukaan dan temperatur. Besar gesekan akan naik bila tekanan bertambah karena deformasi dan turun jika kecepatan dan temperatur naik. Selanjutnya

dampak dari semua itu adalah timbulnya getaran.

Secara umum untuk dapat terjadinya getaran pada sistem diperlukan minimum dua hal, yaitu massa dan elastisitas sistem. Untuk itu perlu analisa dengan membuat model matematika.

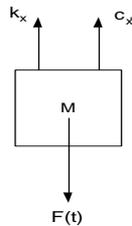
Pada laporan ini dilakukan pengujian getaran pada blok mesin motor Yamaha MT-11, dimana pada blok mesin tersebut dipasang beberapa sensor untuk nantinya akan ditentukan hasil keluaran profil getaran yang didapat berupa sinyal yang terbaca pada layar komputer.

Secara umum getaran dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu, getaran bebas dan getaran paksa. Getaran bebas terjadi karena gaya yang ada pada sistem itu sendiri dan sistem itu bergetar pada pada frekuensi pribadinya. Sedangkan getaran paksa terjadi karena adanya gaya dari luar yang bekerja pada sistem tersebut. Jika gaya luar tersebut beresilasi maka sistem akan dipaksa bergetar mengikuti frekwensi gaya luar tersebut. Jika frekuensi pribadi sama besarnya dengan

frekuensi pribadi sistem, maka akan terjadi resonansi.

2. Teori

Pada getaran yang tereksitasi seperti yang dilakukan pada pengujian ini, maka persamaan gerak sistemnya adalah:



$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F_{eq} \sin \omega t$$

.....(1)

dimana besar amplitudo:

$$X = \frac{F}{\sqrt{(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2}} \dots\dots\dots(2)$$

sudut fasa:

$$\phi = \tan^{-1} \frac{c\omega}{k - m\omega^2}$$

.....(3)

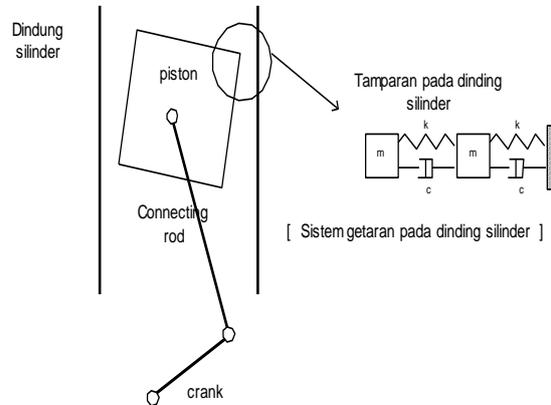
maka:

$$\frac{Xk}{F} = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + \left[2\xi\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)\right]^2}} \dots\dots\dots(4)$$

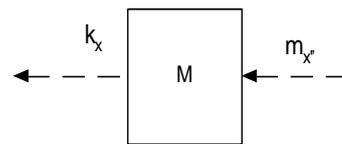
Untuk sistem yang tidak ada peredam maka sudut fasanya, $\phi = 0$, sedangkan responnya mengikuti fasa gaya eksitasi.

Getaran yang timbul pada dinding silinder diakibatkan oleh tamparan (slap) oleh piston yang bergerak naik-turun akibat putaran pros engkol. Pengujian getaran yang dilakukan pada *engine* motor ini adalah untuk mengetahui frekuensi pribadi sistem secara keseluruhan berdasarkan titik acuan pengambilan data pengujian. Hal ini

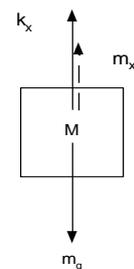
dilakukan dengan mengukur gaya yang bekerja pada titik acuan tersebut baik secara vertikal maupun horizontal. Berikut ini dapat dilihat medel piston dan dinding silinder yang berinteraksi seperti pada gambar 1-3.



Gambar 1. Model piston dan dinding silinder yang saling bergesekan



Gambar 2. Sistem yang bergetar pada bidang horizontal



Gambar 3. Sistem yang bergetar pada bidang vertikal

3. Metodologi

Sinyal getaran adalah suatu besaran listrik yang dihasilkan dari suatu pengukuran getaran. Melalui suatu instrumen getaran maka akan dapat diperoleh sinyal getaran dari bagian yang bergetar yang merupakan presentasi fisik dari informasi getaran. Sinyal getaran yang terukur biasanya berupa amplitudo atau level getaran, dan bila sinyalnya deterministik maka perioda sinyal

bisa diukur. Jadi, dalam hal ini pemantauan getaran dilakukan dalam getaran tersebut (tidak dalam getaran mekanik), kemudian dikonversikan dalam besaran listrik (misal : tegangan listrik) agar pemantauan ataupun manipulasi sinyal seperti perbesaran, penyaringan, pengolahan dan lainnya bisa dilakukan lebih mudah.

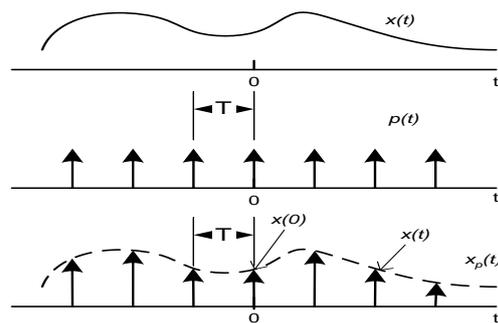
Agar sinyal dapat diolah dengan teknik serta peralatan yang tersedia, maka perlu dinyatakan dalam suatu bentuk atau model yang benar. Pernyataan atau model matematik adalah penting untuk memulai analisis atau pengolahan suatu sinyal. Suatu sinyal sangat sering dinyatakan dalam bentuk gambar atau grafik, yang melukiskan bagaimana suatu informasi didalam sinyal tersebut berubah terhadap informasi lainnya. Hal ini yang terjadi pada pengukuran frekuensi respon. Dari bentuk sinyal seperti sinyal kontinu atau sinyal diskrit, dalam praktek hampir tidak pernah digunakan sinyal kontinu dalam pengolahan dan analisis sinyal. Umumnya hanya akan dimanfaatkan sejumlah data terbatas yang diperoleh dari sinyal kontinu. Sinyal atau informasi yang diperoleh dari sinyal kontinu dikenal sebagai sinyal diskrit

Pada pengolahan sinyal dengan komputer, digunakan bukan sinyal kontinu maupun diskrit, tetapi sinyal digital yang diperoleh dari proses kuantifikasi (digitasi) terhadap sinyal kontinu dengan menggunakan suatu perangkat yang dikenal sebagai *analog-to-digital converter (A/D converter)* atau lebih dikenal ADC. Terhadap sinyal yang tidak dikendaki (*noise*), maka dalam pengolahan sinyal dikenal *signal to noise ratio (SNR)*. Makin kecil nilai SNR, makin sukar informasi diambil atau dipisahkan dari noise.

3.1. Teorema Pencuplikan

Secara umum dengan tidak adanya kondisi atau informasi tambahan, tidak diharapkan suatu sinyal dapat ditentukan secara unik oleh suatu deretan pencuplikan dengan jarak yang sama. Namun jika suatu sinyal dibatasi pitanya, atau jika transformasi Fouriernya sama dengan nol diluar pita frekuensi tertentu, dan jika cuplikan-cuplikannya dibuat sedekat mungkin berkaitan dengan frekuensi yang paling tinggi yang ada pada sinyal tersebut, maka cuplikannya akan menampilkan bentuk yang menjadi ciri

khusus dari sinyal itu sendiri, sehingga kita akan dapat membentuk kembali sinyal secara sempurna. Untuk mengembangkan teorema pencuplikan diperlukan cara yang tepat untuk merepresentasikan pencuplikan sinyal waktu kontinu pada interval tertentu, yaitu dengan perkalian antara rentetan impuls periodik $p(t)$ dengan dengan sinyal waktu kontinu $x(t)$ yang akan dicuplik.

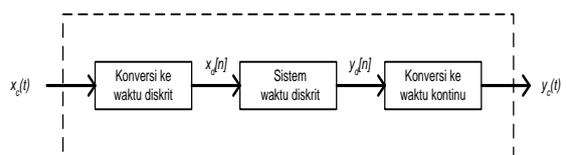


Gambar 4. Pencuplikan rentetan impuls.

3.2. Pemrosesan Waktu Diskrit Dari Sinyal Waktu Kontinu

Pada beberapa aplikasi, sangat menguntungkan memproses waktu sinyal kontinu dengan mengubahnya dulu ke sinyal waktu diskrit dan setelah diproses dalam waktu diskrit kemudian dikembalikan lagi ke sinyal waktu kontinu. Melalui proses pencuplikan periodik dengan frekuensi pencuplikan tetap dan kondisi yang sesuai dengan teorema pencuplikan, sinyal waktu kontinu $x_c(t)$ diubah menjadi urutan nilai cuplikan sesaat $x_c(nT)$, sehingga urutan waktu diskrit $x_d(n)$ berkait dengan $x_c(t)$ dengan persamaan:

$$x_d[n] = x_c(nT) \dots\dots\dots(5)$$



Gambar 5. Pemrosesan waktu diskrit dari sinyal waktu kontinu.

Transformasi dari $x_c(t)$ menjadi $x_d[n]$ merupakan sistem pertama pada gambar 7, disebut dengan konversi waktu-kontinu-ke-waktu-diskrit atau C/D. Operasi kebalikannya merupakan sistem ketiga pada gambar 7, yang menyatakan konversi-waktu-diskrit-ke-waktu-kontinu atau D/C. Operasi D/c menghasilkan interpolasi antara nilai cuplikan yang terdapat pada masukannya. Operasi D/C akan menghasilkan suatu sinyal kontinu $y_c(t)$ yang berkaitan dengan sinyal waktu diskrit $y_d[n]$ sebagai:

$$y_d[n] = y_c(nT) \dots\dots\dots(6)$$

Pada sistem seperti computer digital dan sistem digital dimana sinyal waktu diskrit direpresentasikan dalam bentuk digital, peralatan yang biasa digunakan sebagai konversi D/C biasanya disebut konverter analog-ke-digital (ADC), dan peralatan untuk konversi C/D disebut converter digital-ke-analog (DAC) seperti yang telah disebutkan diatas.

3.3. Pemfilteran (*Filtering*)

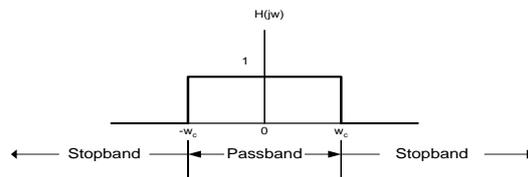
Pengubahan amplitudo relatif dari komponen-komponen frekuensi dalam sinyal atau mungkin penghapusan beberapa komponen frekuensi secara keseluruhan pada berbagai aplikasi, merupakan pemfilteran (*filtering*). Sementara pemilihan frekuensi tidak hanya merupakan masalah dalam aplikasi, perannya yang lebih luas telah sampai pada pengaturan batasan-batasan yang telah diterima secara luas yang menggambarkan karakteristik dari filter pemilih frekuensi.

Beberapa tipe dasar dari filter digunakan secara luas dan telah diberikan nama berdasarkan pada fungsinya. Sebagai contoh, filter lowpass merupakan filter yang melewatkan frekuensi-frekuensi rendah, artinya frekuensi-frekuensi sekitar $\omega = 0$ dan meredam atau menolak frekuensi-frekuensi tinggi. Filter highpass merupakan filter yang melewatkan frekuensi-frekuensi tinggi dan meredam atau menolak frekuensi rendah, dan filter bandpass merupakan filter yang melewatkan pita frekuensi-frekuensi dan meredam atau menolak kedua frekuensi yang

lebih tinggi atau lebih rendah daripada frekuensi pita yang dilewatkan tersebut.

Filter pemilih frekuensi ideal adalah filter yang pasti melewatkan eksponensial kompleks pada suatu pengaturan frekuensi tanpa distorsi dan menolak seluruh sinyal pada frekuensi lainnya. Sebagai contoh, suatu filter lowpass ideal waktu kontinu dengan frekuensi cutoff ω_c adalah sistem LTI yang melewatkan eksponensial kompleks $e^{j\omega t}$ untuk harga ω dalam daerah $-\omega_c \leq \omega \leq \omega_c$ dan menolak sinyal-sinyal pada frekuensi lain. Artinya tanggapan ferkuensi dari filter adalah

$$H(j\omega) = \begin{cases} 1, & |\omega| \leq \omega_c \\ 0, & |\omega| > \omega_c \end{cases}$$

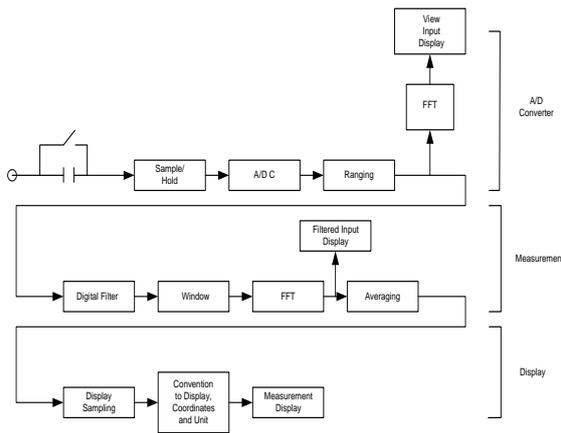


Gambar 6. Tanggapan frekuensi dari filterlowpass ideal

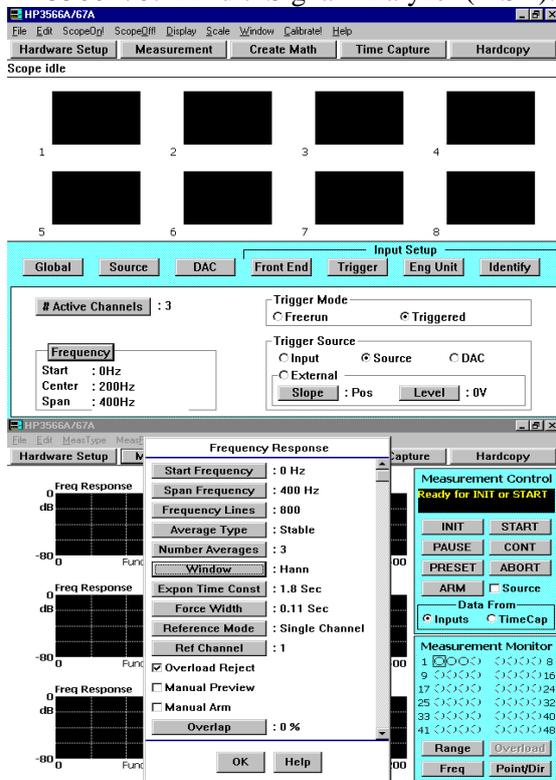
3.4. Setup Pengujian

Alur pengujian dimulai dengan penempatan sensor accelerometers pada tempat yang ingin ditentukan getaran yang akan diukur. Dalam pengujian ini accelerometers di tempatkan di dinding silinder, katup masuk dan katup buang, pada bagian atas piston dan key-phasor yang ditempatkan pada poros penggerak poros engkol.

Motor yang digunakan unut penggerak poros engkol adalah sebuah motor AC. Setelah mengatur putaran motor, selanjutnya sensor-sensor yang telah dipasang akan meneruskan sinyal kepada masing-masing alat charge amplifier, input chanel yang kemudian diterima dan diolah oleh MSA (*Multi Signal Analyzer*) dan selanjutnya diproses dengan program computer HP 3566A/67A. Keluarannya (output) berupa sinyal dengan domain frekuensi atau waktu. Secara umum setup dan alur proses yang terjadi pada MSA dapat dilihat pada diagram gambar 7 dan 8.



Gambar 7. Alur proses pengukuran pada HP3566A/67A Multi Signal Analyzer (MSA).



Gambar 8. Setup MSA

4. Pembahasan

4.1. Akuisisi Data Dengan MSA

Dalam pengukuran fungsi transfer maupun pengukuran spektrum frekuensi, peranan penganalisa spektrum (*Spectrum Analyzer: Multi Signal Analyser*) sangat penting karena proses transformasi sinyal getaran dari domain waktu ke domain frekuensi dilakukan oleh instrument ini. Data yang diperoleh dari penganalisa spektrum

tersebut bisa berupa data : amplitudo, frekuensi dan fasa yang disajikan dalam bentuk spektrum frekuensi dan spectrum fasa. Data lainnya yang melibatkan dua sinyal adalah berupa : fungsi transfer, fungsi koherensi, fasa dan lainnya.

Penganalisa spektrum MSA menggunakan konsep pengolahan data secara digital. Proses konversi sinyal dari domain waktu ke dalam domain frekuensi menggunakan metoda Transformasi Fourier Cepat (FFT), dan data hasil konversi bisa dimanipulasi secara matematik sehingga misalnya data bisa disajikan dalam skala linear ataupun dalam skala logaritmik.

Proses konversi berlangsung relatif cepat (dalam *order milisecond*) dan penganalisa spektrum ini bisa dihubungkan dengan komputer dengan GPIB (*General purpose Interface Bus*), sehingga proses pengukuran dan pengolahan data bisa dikontrol oleh komputer. Dengan kemampuan yang disebutkan diatas, maka MSA cocok untuk digunakan dalam analisis getaran maupun diagnosis kerusakan pada elemen rotasi.

Penganalisa spektrum MSA selalu dilengkapi dengan low-pass-filter untuk mencegah terjadinya kesalahan *aliasing* (tumpang tindih atau pelipatan frekuensi) pada hasil konversi data domain waktu menjadi data domain frekuensi. Setelah itu dilakukan proses pencuplikan dan konversi sinyal analog menjadi sinyal digital yang keduanya dalam domain waktu.

Sinyal pencuplikan yang merupakan sederetan fungsi impuls dapat dinyatakan dalam deret Fourier sebagai berikut

$$S(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} D_n e^{2j\pi n f_s t} \dots\dots\dots(7)$$

$$D_n = \frac{h \tau \sin(n\pi f_s \tau)}{\Delta t n \pi f_s \tau} \dots\dots\dots(8)$$

$$f_s = 1 / \Delta t \dots\dots\dots(9)$$

f_s adalah frekuensi pencuplikan. Fungsi hasil pencuplikan, $f_x(t)$ adalah

$$f_x(t) = \frac{f(t)h\tau}{\Delta t} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{\sin(n\pi f_s \tau)}{n\pi f_s \tau} e^{j2\pi n f_s t} \quad (10)$$

Bila $h\tau = A$ adalah konstan dan lebar fungsi impuls τ menuju nol, maka

$$\lim_{\tau \rightarrow 0} \frac{\sin(n\pi f_s \tau)}{n\pi f_s \tau} = 1 \quad \dots\dots(11)$$

sehingga diperoleh

$$f_x(t) = \frac{f(t)A}{\Delta t} \sum e^{j2\pi n f_s t} \quad \dots\dots(12)$$

Transformasi Fourier dari persamaan diatas, maka diperoleh

$$F_x(f) = \frac{A}{\Delta t} \int_{-\infty}^{\infty} [f(t) \sum e^{j2\pi n f_s t}] e^{-j2\pi f t} dt \quad \dots(13)$$

$$F_x(f) = \frac{A}{\Delta t} \sum \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j2\pi(f - n f_s)t} dt \quad \dots(14)$$

$$F_x(f) = \frac{A}{\Delta t} \sum F(f - n f_s) \quad \dots\dots\dots(15)$$

Arti fisik dari persamaan diatas adalah hasil transformasi Fourier yang berupa $F_x(f)$ yang dalam domain frekuensi, dan pusat frekuensinya tergeser sebesar $n f_s$. Agar tidak terjadi aliasing, maka secara teoritik frekuensi pencuplikan f_s besarnya adalah

$$f_s > 2f_{\max} \quad \dots\dots\dots(16)$$

Aliasing terjadi bila $f_s < 2f_{\max}$.

4.2. Fungsi Transfer Dan Koherensi

Pada MSA terdapat berbagai modus analisis diantaranya adalah modus analisis FFT. Dalam modus ini dengan bantuan FFT data dalam domain waktu ditransformasikan dalam domain frekuensi. Data dasar dalam domain frekuensi sebagai spektrum linier dapat diproses lebih lanjut misalnya untuk menentukan spektrum daya, fungsi respon frekuensi (FRF), fungsi koherensi dan lainnya.

Dalam modus analisis FFT ini, data yang tersedia diantaranya adalah:

(1). Spektrum Linear : Merupakan data dasar dalam pengukuran spektrum frekuensi. Spektrum linear adalah hasil transformasi data domain waktu (setelah dikalikan dengan fungsi jendela) dengan menggunakan konsep FFT. Data spektrum linear memiliki komponen; data *real*, data imajiner dan fasa.

(2). Spektrum Daya : Data ini diturunkan dari spektrum linear yakni mengalikan dengan pasangan konjugatnya dan selanjutnya dihitung harga RMS-nya. Spektrum daya hanya memiliki besar *real* saja.

(3). Fungsi Respon Frekuensi (FRF) : Data ini menyatakan hubungan antara besaran stimulus yang dimasukkan pada kanal 1 dengan besaran respon yang dimasukkan pada kanal 2. Secara fisik fungsi ini menunjukkan hubungan antara gaya eksitasi getaran dengan respon getarannya yang dipengaruhi oleh perilaku dinamik struktur yang bersangkutan.

(4). Koherensi : Data ini dapat digunakan untuk menyatakan keandalan data hasil pengukuran fungsi transfer. Data dalam domain frekuensi ini amplitudonya tanpa satuan dan dinormalkan antara 0 sampai dengan 1. Pada MSA, harga koherensi hanya dapat diperoleh melalui proses perata-rataan yang jumlah perataannya lebih besar dari pada satu.

(5). Spektrum Silang : Data ini menyatakan spektrum daya silang antara sinyal pada kanal yang satu dengan sinyal pada kanal yang lainnya. Secara fisik data ini menunjukkan korelasi antara dua sinyal yang diukur pada tempat yang berlainan. Spektrum ini memiliki: komponen real, imajiner dan fasa.

Dari grafik FRF hasil pengujian didapat hanya 4 puncak yang diduga sebagai frekuensi pribadi pada rentang (span) 400 Hz, sedangkan secara teoritik ada 5 frekuensi pribadi. Kurva FRF ini didapat dengan prosedur sebagai berikut:

(1). Sinyal stimulus yang digunakan adalah *Continuous Random* dengan pertimbangan untuk waktu pengukuran yang relatif cepat, mengurangi pengaruh non-linearitas serta rasio sinyal masukan terhadap sinyal pengganggu (noise) yang cukup baik.

(2). Untuk mencegah kebocoran spektrum dari sinyal stimulus yang digunakan, maka dipilih jendela *hanning*. Pemakaian jendela ini mengakibatkan sinyal masukan dalam domain waktu mengalami pengecilan pada bagian awal dan akhir sedemikian rupa sehingga

sinyal masukan ini kelihatan periodik sehingga menghasilkan data yang kecermatan frekuensinya lebih baik dari jendela lainnya.

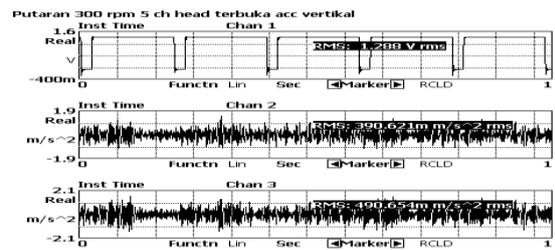
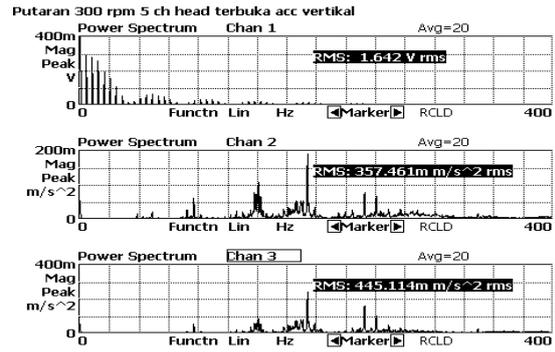
(3). Untuk memperbaiki keakuratan parameter statistik sinyal yang teratur sehingga didapat bentuk kurva yang lebih bersih, maka digunakan perataan (*averaging*) dengan jenis perataan *stable* (menjumlahkan secara aritmetik sinyal masukan dan kemudian membaginya sesuai dengan jumlah perataan yang dipilih). Dalam hal ini grafik komponen real dan imajiner memberikan informasi sebagai berikut:

- Penggambaran komponen real fungsi transfer memperlihatkan bagian positif dan bagian negatif. Perpotongan antara grafik komponen *real* dengan absis (sumbu frekuensi) merupakan frekuensi yang harga realnya sama dengan nol.
- Penggambaran komponen imajiner menunjukkan adanya amplitudo maksimum pada frekuensi dimana harga realnya sama dengan nol.
- Frekuensi yang memenuhi syarat seperti dala butir (a) dan (b), merupakan *frekuensi pribadi sistem tersebut*

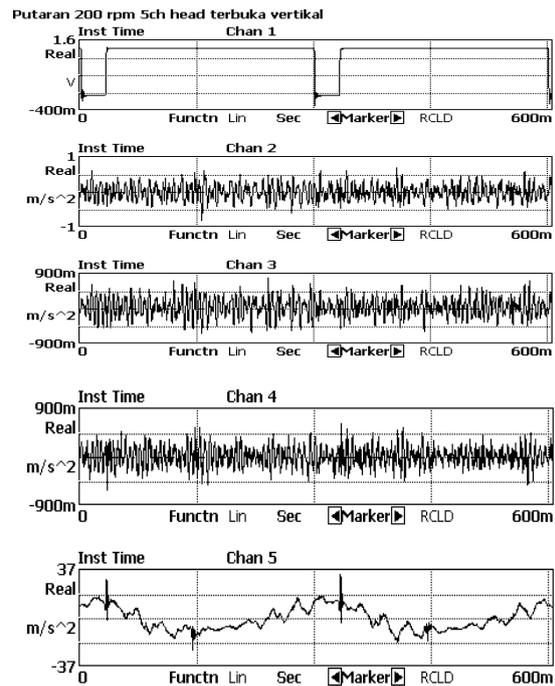
Cara lain untuk menentukan frekuensi pribadi adalah dengan melihat grafik koherensi terhadap grafik respon frekuensi. Fungsi koherensi tidak bersatuan dan harganya antara 0 dan 1. Fungsi koherensi 0 berarti tidak ada hubungan antara sinyal masukan dengan sinyal keluaran, sedangkan bila harganya 1 berarti sinyal masukan berhubungan dengan sinyal keluaran, sehingga jika puncak-puncak pada grafik respon frekuensi sama dengan atau mendekati 1 maka bisa kita anggap pada nilai pada puncak tersebut merupakan frekuensi pribadi.. Bila koherensinya berharga antara 0 dan 1 berarti pada sinyal keluaran terdapat sinyal pengganggu (*noise*).

Disamping itu dari grafik fasa terhadap respon frekuensi (*bode diagram*), juga dapat dilihat bahwa pada puncak-puncak yang merupakan bentuk kurva yang bernilai 90 derajat atau kelipatannya pada grafik fasa, maka bisa kita asumsikan nilai puncak-puncak tersebut merupakan frekuensi pribadi.

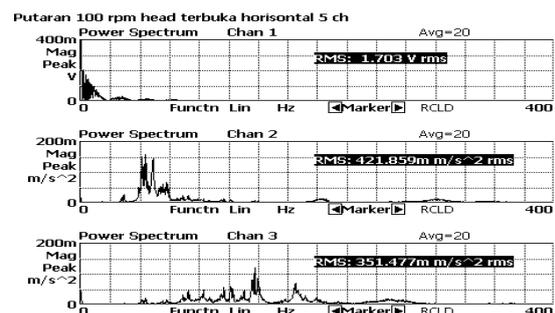
Hasil pengukuran dan data sinyal dapat dilihat pada gambar 9 berikut:

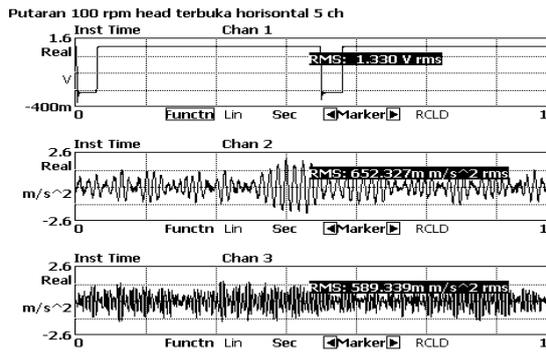


(a)



(b)





(c)

Gambar 9. Grafik hasil pengukuran untuk amplitudo, noise dan koherensi pada (a) 300 rpm, (b) 200 rpm, (c) 100 rpm pada posisi *accelerometer* vertikal dan horizontal.

5. Kesimpulan

Dari pegujian yang telah dilakukan, ada beberapa puncak frekuensi yang tidak terlihat/terbaca. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa hal, antara lain: kemungkinan pemasangan sensor yang kurang tepat atau pemilihan sinyal stimulus dan jendela yang digunakan kurang sesuai untuk pegujian yang dilakukan. Dimana untuk sinyal *stimulus continuous random* dengan jendela *hanning* yang digunakan mempunyai beberapa kelemahan antara lain amplitudo yang kurang akurat.

Secara umum disimpulkan:

- Dengan pengukuran sinyal getaran secara eksperimental maka diperoleh spektrum getaran (seperti: *magnitude, real, imaginer, koherensi, phase, inst. time* dan lainnya) dalam domain frekuensi yang merupakan informasi penting dalam menganalisis getaran struktur. Dari kurva getaran tersebut dapat ditentukan karakteristik dinamik struktur seperti frekuensi pribadi, modus getar, rasio percepatan dan gaya dari struktur tersebut.
- Untuk menghindari kebocoran sinyal saat dilakukan transformasi ke domain frekuensi maka diperlukan pemakaian fungsi jendela (*window*) yang sesuai dengan *source* sinyal pengeksitasinya.
- Untuk meminimalkan pengaruh luar terhadap sinyal (*noise*) maka dilakukan averaging pada penentuan koherensinya. Semakin besar harga *averaging* semakin baik bentuk sinyal yang diharapkan.

Disamping itu terbatasnya waktu pengujian dimana diperlukan waktu *setting* alat yang cukup lama, sehingga untuk pengukuran dengan berbagai variasi sinyal stimulus dan jendela yang digunakan menjadi terbatas hanya pada satu variasi untuk masing-masing pengujian.

Untuk kecermatan pengukuran maka perlu perhitungan awal (manual) terlebih dahulu agar didapatkan acuan span frekuensi pengukuran, sehingga spektrum pengukuran yang diharapkan dapat lebih baik.

6. Daftar Pustaka

1. McConnell M., 1995, *Vibration Testing Theory and Practice*, John Wiley & Sons.Inc.
2. Oppenheim A.V. dan Willsky A.S., 1997, *Sinyal & Sistem Jilid 1 & 2*, Penerbit Erlangga.
3. Bagiasma K. dan Soemantri S., 1990, *Penganalisa Sinyal Dinamik dan Akuisisi Data*, Lab PAU ITB.
4. Candy J.V., 1988, *Signal Processing The Modern Approach*, McGraw-Hill.
5. Lim J.S. and Oppenheim A.V., 1988, *Advanced Topics in Signal Processing*, Prentice Hall.
6. Gabel R.A. dan Robert R.A., 1988, *Sinyal Dan Sistem Linear*, Penerbit Erlangga.
7. Kreyzig E., 1988, *Advanced Engineering Mathematics*, John Wiley & Sons.
8. Thomson W.T., 1993, *Theory Of Vibration With Applications*, Prentice Hall.
9. Rao S.S., 1995, *Mechanical Vibration*, Addison Wesley.
10. Strum R.D. and Kirk D.E., 1994, *Contemporary Linear Systems Using Matlab*, PWS.
11. Gaul L. and Wagner M., *Beam Response Derived From A 3-D Hybrid Boundary Integral Method In Elastodynamics, Mechanical System and Signal Processing* (1997) 11(2), 257-268.
12. Tawfiq I., Vinh T. and Chouychai T., *A New Approach To Impact Testing Instrumentation Using An Electronic Slave Hammer*, Mechanical System

- and *Signal Processing* (1997) 11(2), 269-285.
13. Arman R., 2003, *Laporan Praktikum Pengujian FRF Beam Aluminium Dengan Tumpuan Jepit-Jepit*, Tidak di publikasi.
 14. _____, *Bahan Kuliah Kursus Singkat Getaran Pemesinan*, Lab. Dinamika PAU ITB.
 15. _____, *Seri Matlab Programming*, Comlabs ITB.