

VALIDASI SINYAL *THREE-STEP SWEPT-SINE* PADA *VIRTUAL SIGNAL GENERATOR* DENGAN PERANGKAT LUNAK *LABVIEW*

Oleh:

Asmara Yanto

Jurusan Teknik Mesin – Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Padang (ITP)

Jl. Gajah Mada Kandis Nanggalo Padang, 25143, Indonesia

Email: asmarayanto@gmail.com

Abstrak

Sinyal *Swept-sine* adalah sinyal sinusoidal dengan amplitudo tertentu dan memiliki kandungan frekuensi yang berubah terhadap waktu. Sinyal ini sering digunakan pada pengujian FRF (Fungsi Respon Frekuensi) suatu sistem yang dilakukan untuk mengetahui karakteristik dinamik dari sistem tersebut. Sinyal ini dibangkitkan dengan *Signal Generator* dan dikirimkan ke *Shaker* untuk mengeksitasi sistem uji. Pada umumnya jenis sinyal *Swept-sine* yang sering digunakan adalah *Linear Swept-sine* dan *Logarithmic Swept-sine*. Pada makalah ini dipaparkan empat buah sinyal *Three-step Swept-sine* dengan menggunakan perangkat lunak *LabVIEW*. Keempat sinyal ini adalah sinyal S111, S212, S232, dan S535 *Swept-sine*. Keempat sinyal ini merupakan pengembangan dari hubungan sinyal *Linear Swept-sine* dengan kurva magnitudo FRF Sistem Satu Derajat Kebebasan. Penamaan keempat sinyal ini berdasarkan orde polinomial dari fungsi *swept* yang digunakannya. Keempat sinyal ini dikemas dalam sebuah *Virtual Signal Generator* dengan perangkat lunak *LabVIEW* pada komputer. Sinyal *Three-step Swept-sine* pada *Virtual Signal Generator* dibangkitkan melalui sebuah *DAQ Device*. Untuk memvalidasi sinyal *Three-step Swept-sine* ini dilakukan pencuplikan sinyal sesudah melewati *DAQ Device* dengan sebuah *Picoscope*. Rentang frekuensi sinyal yang diuji adalah 0-10 Hz, 0-100 Hz, dan 0-1000 Hz dengan variasi lama pencuplikan sinyal 2 s, 4 s, dan 6 s. Dari perbandingan sinyal yang dicuplik terhadap sinyal yang dibangkitkan diperoleh kesalahan magnitudo sepanjang rentang frekuensi sinyal dan kesalahan waktu *swept* sinyal. Harga kesalahan magnitudo sepanjang rentang frekuensi sinyal yang diperoleh di bawah 0.15% dan harga kesalahan waktu *swept* sinyal yang diperoleh di bawah 0.06 %, sehingga keempat buah sinyal *Three-step Swept-sine* ini dinyatakan valid.

Kata kunci: *Swept-sine*, *Three-step Swept-sine*, *Virtual Signal Generator*, rentang frekuensi, lama pencuplikan, kesalahan magnitudo, kesalahan waktu *swept*.

Abstract

Swept-sine signal is a sinusoidal signal with certain amplitude and contains frequencies that change within time. It is often used in FRF (Frequency Response Function) measurement a system that is conducted to depict dynamic characteristic of the system. It is generated by using a Signal Generator to a Shaker for exciting the tested system. The most common type of Swept-sine signals that often used are Linear Swept-sine and Logarithmic Swept-sine. This paper presents four Three-step Swept-sine signals by using LabVIEW software. They are S111, S212, S232, and S535 Swept-sine signals. They are developed from relationship between the Linear Swept-sine signal with the FRF's magnitude curve of the Single Degree of Freedom System. Naming the signals based on the polynomial order of swept functions that are used it. They are packaged in a Virtual Signal Generator with LabVIEW software on a computer. The Three-step Swept-sine signal in a Virtual Signal Generator is generated through a DAQ Device. To validating the Three-step Swept-sine signals are performed the sampling to signals that pass through the DAQ Device by using a Picoscope. Tested frequency spans are 0-10 Hz, 0-100 Hz, and 0-1000 Hz with time records of the signals are 2 s, 4 s, and 6 s. From the comparison of the sampled signals are obtained the error of magnitude throughout the frequency span and the error of swept time. Value of the error of magnitude throughout the frequency span that be obtained is less than 0.15% and value of the error of swept time that be obtained is less than 0.06%, so, four Three-step Swept-sine signals are valid.

Keywords: *Swept-sine*, *Three-step Swept-sine*, *Virtual Signal Generator*, frequency span, time record, the error of magnitude, the error of swept time.

I. PENDAHULUAN

Pada pengujian FRF (Fungsi Respon Frekuensi) suatu sistem dengan eksitasi *Shaker* dibutuhkan beberapa perangkat yaitu *Signal Generator*, *Power Amplifier*, *Shaker*, dan *Stinger* [1-4]. *Signal Generator* berfungsi untuk membangkitkan sinyal pengekstasi yang akan dikirim ke *Power Amplifier* untuk mengaktifkan *Shaker*.

Ada dua tipe sinyal yang sering digunakan pada *Signal Generator* yaitu *Random* dan *Swept-sine*. Sinyal dengan tipe *Swept-sine* yang sering digunakan adalah *Linear Swept-sine* dan *Logarithmic Swept-sine*. Sinyal *Swept-sine* merupakan jenis sinyal sinusoidal dengan amplitudo tertentu dan mengandung frekuensi yang berubah terhadap waktu sesuai dengan fungsi *swept* yang digunakannya. Fungsi *swept* adalah suatu fungsi yang mengekspresikan hubungan frekuensi sinyal *Swept-sine* terhadap waktu [4-6].

Pembahasan mengenai sinyal *Linear Swept-sine* dan *Logarithmic Swept-sine* telah dilakukan oleh Haritos [5][7], Baoliang [8] dan Gloth [9-10]. Pada penelitian lain, Novák [11] membahas tentang sinyal *Exponential Swept-sine*. Pada makalah ini, akan dipaparkan empat buah sinyal *Three-step Swept-sine*. Sinyal ini merupakan pengembangan dari hubungan sinyal *Linear Swept-sine* dengan kurva magnitudo FRF Sistem Satu Derajat Kebebasan [12-14]. Disini, keempat sinyal *Three-step Swept-sine* dikemas dalam sebuah *Virtual Signal Generator* dengan perangkat lunak *LabVIEW* pada komputer. Sinyal *Three-step Swept-sine* yang dihasilkan oleh *Virtual Signal Generator* ini divalidasi secara eksperimental. Tujuan validasi sinyal ini agar diketahui tingkat kesalahan magnitudo sepanjang rentang frekuensi sinyal dan kesalahan waktu *swept* sinyal.

II. METODOLOGI

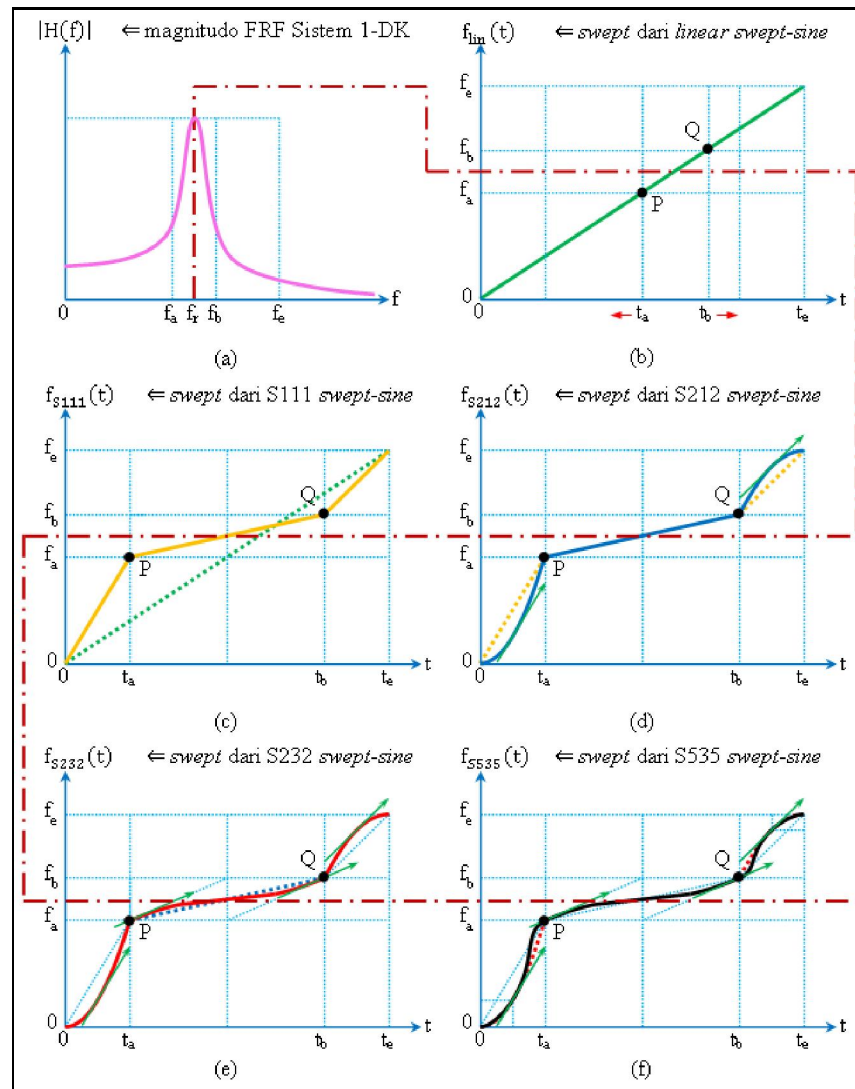
Sistem Satu Derajat Kebebasan (Sistem 1-DK) mempunyai satu buah frekuensi resonansi (f_r). Apabila sistem ini dieksitasi dengan eksitasi *Swept-sine*, maka f_r harus berada diantara rentang frekuensi eksitasi

(frekuensi awal, $f_0 = 0$ Hz dan frekuensi akhir $= f_c < \text{Hz}$) agar diperoleh kurva magnitudo FRF ($|H(f)|$) dengan satu buah puncak kurva ($|H(f)|_{\max}$) pada saat frekuensi eksitasi sama dengan f_r seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1(a) [12][14].

Apabila $|H(f)|_{\max}$ yang berada pada f_r diketahui, maka dipilih dua buah frekuensi yang masing-masing sebelum dan sesudah f_r yaitu frekuensi f_a dan f_b . Frekuensi f_a dan f_b merupakan frekuensi yang membatasi daerah f_r . Hubungan kurva $|H(f)|$ ini dengan fungsi *Linear Swept* ($f_{\text{lin}}(t)$) pada sinyal *Linear Swept-sine* ($u_{\text{lin}}(t)$) dapat ditunjukkan dengan Gambar 1(b). Pada $f_{\text{lin}}(t)$, posisi f_a pada saat $t = t_a$ dan f_b pada saat $t = t_b$ masing-masing ditandai dengan titik P dan titik Q [12].

Pengembangan fungsi *Three-step Swept* ($f_{\text{xyz}}(t)$) dapat dilakukan dengan mengubah posisi P dan Q sehingga diperoleh waktu *swept* untuk rentang frekuensi dari f_0 hingga f_a menjadi lebih pendek daripada sebelumnya dan waktu *swept* dari f_a hingga f_b menjadi lebih panjang daripada sebelumnya [12][14]. Disini $f_{\text{xyz}}(t)$ diekspresikan dengan empat buah cara seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1(c), 1(d), 1(e), dan 1(f).

Cara pertama seperti pada Gambar 1(c) diperoleh dengan menyusun tiga buah fungsi *Linear Swept* ($f_{\text{fa}}(t)$, $f_{\text{fb}}(t)$, dan $f_{\text{fc}}(t)$) secara berurutan sehingga diperoleh $f_{\text{xyz}}(t)$ ke-1 yaitu $f_{\text{S11}}(t)$ [12]. Cara kedua seperti pada Gambar 1(d) diperoleh dengan mengganti $f_{\text{fa}}(t)$ dan $f_{\text{fc}}(t)$ masing-masing dengan fungsi *quadratic* $f_{\text{qa}}(t)$ dan $f_{\text{qc}}(t)$ sehingga diperoleh $f_{\text{xyz}}(t)$ ke-2 yaitu $f_{\text{S212}}(t)$. Fungsi $f_{\text{qa}}(t)$ merupakan fungsi kuadrat dengan laju perubahan frekuensi (*swept rate*) yang dimulai dari 0 dan semakin naik terhadap perubahan waktu sedangkan $f_{\text{qc}}(t)$ merupakan fungsi kuadrat dengan laju *swept rate* yang semakin turun terhadap perubahan waktu hingga menuju harga 0. Cara ketiga seperti pada Gambar 1(e) diperoleh dengan mengganti $f_{\text{fb}}(t)$ dengan fungsi *cubic* atau polinomial orde-3 $f_{\text{cb}}(t)$ sehingga diperoleh $f_{\text{xyz}}(t)$ ke-3 yaitu $f_{\text{S232}}(t)$. Cara keempat seperti pada Gambar 1(f) diperoleh dengan mengganti $f_{\text{qa}}(t)$ dan $f_{\text{qc}}(t)$ masing-masing dengan fungsi polinomial orde-5 $f_{\text{pa}}(t)$ dan $f_{\text{pc}}(t)$ sehingga diperoleh $f_{\text{xyz}}(t)$ ke-4 yaitu $f_{\text{S535}}(t)$ [13].



Gambar 1. Pengembangan fungsi *Three-step Swept* dari hubungan kurva $|H(f)|$ dengan $f_{lim}(t)$.

Dengan kondisi batas-kondisi batas untuk $f_{s111}(t)$, yaitu:

- $f_{fa}(t = 0) = f_0$
- $f_{fa}(t = T_a) = f_a$

- $f_{fb}(t = T_a) = f_a$
- $f_{fb}(t = T_{a+b}) = f_b$; $T_{a+b} = T_a + T_b$
- $f_{fc}(t = T_{a+b}) = f_b$

diperoleh

$$f_{fa}(t) = (f_a - f_0) \left(\frac{t}{T_a} \right) + f_0 ; 0 \leq t < T_a, \quad (1)$$

$$f_{fb}(t) = (f_b - f_a) \left(\frac{t - T_a}{T_b} \right) + f_a ; T_a \leq t < T_{a+b}, \quad (2)$$

$$f_{fc}(t) = (f_e - f_b) \left(\frac{t - T_{a+b}}{T_c} \right) + f_b ; T_{a+b} \leq t \leq T_r, \quad (3)$$

dimana T_a adalah waktu *swept* pada step-1 untuk rentang frekuensi dari f_0 sampai f_a , T_b

adalah waktu *swept* pada step-2 untuk rentang frekuensi dari f_a sampai f_b , T_c adalah

waktu *swept* pada step-3 untuk rentang frekuensi dari f_b sampai f_c , dan T_r adalah lama pencuplikan atau waktu rekam [12][14].

Untuk kondisi batas-kondisi batas $f_{qa}(t)$, yaitu:

- $f_{qa}(t=0) = f_0$
- $\dot{f}_{qa}(t=0) = 0$

$$f_{qa}(t) = (f_a - f_0) \left(\frac{t}{T_a} \right)^2 + f_0 ; 0 \leq t < T_a, \quad (4)$$

$$f_{qc}(t) = (f_c - f_b) \left[- \left(\frac{t - T_{a+b}}{T_c} \right) + 2 \right] \left(\frac{t - T_{a+b}}{T_c} \right) + f_b ; T_{a+b} \leq t \leq T_r. \quad (5)$$

Selanjutnya, dengan kondisi batas-kondisi batas untuk $f_{cb}(t)$, yaitu:

- $f_{cb}(t=T_a) = f_a$
- $\dot{f}_{cb}(t=T_a) = 2 \frac{(f_b - f_a)}{T_b}$
- $f_{cb}(t=T_{a+b}) = f_b$
- $\dot{f}_{cb}(t=T_{a+b}) = 2 \frac{(f_b - f_a)}{T_b}$

diperoleh

$$f_{cb}(t) = (f_b - f_a) \left[2 \left(\frac{t - T_a}{T_b} \right)^2 - 3 \left(\frac{t - T_a}{T_b} \right) + 2 \right] \left(\frac{t - T_a}{T_b} \right) + f_a ; T_a \leq t < T_{a+b}. \quad (6)$$

Berikutnya, untuk kondisi batas-kondisi batas

$f_{pa}(t)$ [13], yaitu:

- $f_{pa}(t=0) = f_0$
- $\dot{f}_{pa}(t=0) = 0$
- $f_{pa}\left(t = \frac{T_a}{2}\right) = f_0 + \frac{(f_a - f_0)}{4}$
- $\dot{f}_{pa}\left(t = \frac{T_a}{2}\right) = \frac{(f_a - f_0)}{T_a}$
- $f_{pa}(t=T_a) = f_a$
- $\dot{f}_{pa}(t=T_a) = 2 \frac{(f_b - f_a)}{T_b}$

dan kondisi batas-kondisi batas $f_{pc}(t)$ [13], yaitu:

- $f_{pc}(t=T_{a+b}) = f_b$
- $\dot{f}_{pc}(t=T_{a+b}) = 2 \frac{(f_b - f_a)}{T_b}$
- $f_{pc}\left(t = T_r - \frac{T_c}{2}\right) = f_b + \frac{3(f_c - f_b)}{4}$
- $\dot{f}_{pc}\left(t = T_r - \frac{T_c}{2}\right) = \frac{(f_c - f_b)}{T_c}$
- $f_{pc}(t=T_r) = f_c$
- $\dot{f}_{pc}(t=T_r) = 0$

didapatkan

$$f_{pa}(t) = \left\{ (f_a - f_0) \left[-8 \left(\frac{t}{T_a} \right)^3 + 16 \left(\frac{t}{T_a} \right)^2 - 10 \left(\frac{t}{T_a} \right) + 3 \right] + 2(f_b - f_a) \frac{T_a}{T_b} \left[4 \left(\frac{t}{T_a} \right)^3 - 8 \left(\frac{t}{T_a} \right)^2 + 5 \left(\frac{t}{T_a} \right) - 1 \right] \right\} \left(\frac{t}{T_a} \right)^2 + f_0 ; 0 \leq t < T_a, \quad (7)$$

$$\begin{aligned}
f_{pc}(t) = & \left\{ (f_c - f_b) \left[-8 \left(\frac{t - T_{a+b}}{T_c} \right)^4 + 24 \left(\frac{t - T_{a+b}}{T_c} \right)^3 \right. \right. \\
& \left. \left. - 26 \left(\frac{t - T_{a+b}}{T_c} \right)^2 + 11 \left(\frac{t - T_{a+b}}{T_c} \right) \right] \right. \\
& + 2(f_b - f_a) \frac{T_c}{T_b} \left[4 \left(\frac{t - T_{a+b}}{T_c} \right)^4 - 12 \left(\frac{t - T_{a+b}}{T_c} \right)^3 \right. \\
& \left. \left. + 13 \left(\frac{t - T_{a+b}}{T_c} \right)^2 - 6 \left(\frac{t - T_{a+b}}{T_c} \right) + 1 \right] \right\} \\
& \left(\frac{t - T_{a+b}}{T_c} \right) + f_b ; T_{a+b} \leq t \leq T_r .
\end{aligned} \quad (8)$$

Berdasarkan ketiga fungsi *swept* penyusunnya, $f_{S111}(t)$, $f_{S212}(t)$, $f_{S232}(t)$, dan $f_{S535}(t)$ secara berturut-turut diekspresikan dalam bentuk

$$f_{S111}(t) = \begin{cases} f_{fa}(t) & ; 0 \leq t < T_a \\ f_{fb}(t) & ; T_a \leq t < T_{a+b} \\ f_{fc}(t) & ; T_{a+b} \leq t \leq T_r \end{cases} \quad (9)$$

$$f_{S212}(t) = \begin{cases} f_{qa}(t) & ; 0 \leq t < T_a \\ f_{qb}(t) & ; T_a \leq t < T_{a+b} \\ f_{qc}(t) & ; T_{a+b} \leq t \leq T_r \end{cases} \quad (10)$$

$$f_{S232}(t) = \begin{cases} f_{qa}(t) & ; 0 \leq t < T_a \\ f_{cb}(t) & ; T_a \leq t < T_{a+b} \\ f_{qc}(t) & ; T_{a+b} \leq t \leq T_r \end{cases} \quad (11)$$

$$f_{S535}(t) = \begin{cases} f_{pa}(t) & ; 0 \leq t < T_a \\ f_{cb}(t) & ; T_a \leq t < T_{a+b} \\ f_{pc}(t) & ; T_{a+b} \leq t \leq T_r \end{cases} \quad (12)$$

Keempat sinyal *Three-step Swept-sine* (S111, S212, S232, dan S535 *Swept-sine*) dengan amplitudo sinyal $A <mV>$ secara berturut-turut diekspresikan dengan $u_{S111}(t)$, $u_{S212}(t)$, $u_{S232}(t)$, dan $u_{S535}(t)$ [12-13].

$$u_{S111}(t) = A \sin\left(2\pi \int [f_{S111}(t)] dt\right) \quad (13)$$

$$u_{S212}(t) = A \sin\left(2\pi \int [f_{S212}(t)] dt\right) \quad (14)$$

$$u_{S232}(t) = A \sin\left(2\pi \int [f_{S232}(t)] dt\right) \quad (15)$$

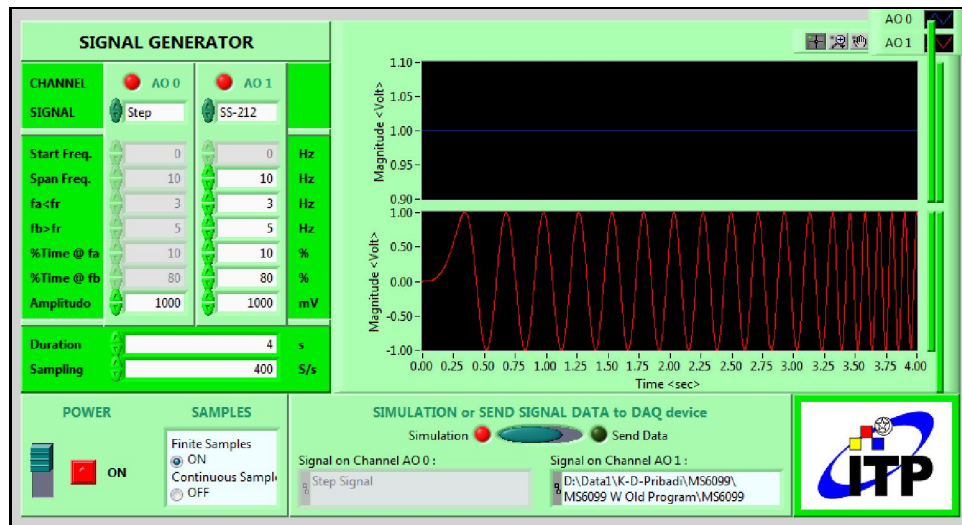
$$u_{S535}(t) = A \sin\left(2\pi \int [f_{S535}(t)] dt\right) \quad (16)$$

Keempat sinyal *Three-step Swept-sine* ini dikemas dalam sebuah *Virtual Signal Generator* dengan perangkat lunak *LabVIEW* pada sebuah komputer. *Front Panel* dan *Block Diagram* dari *Virtual Signal Generator* ini diperlihatkan pada Gambar 2.

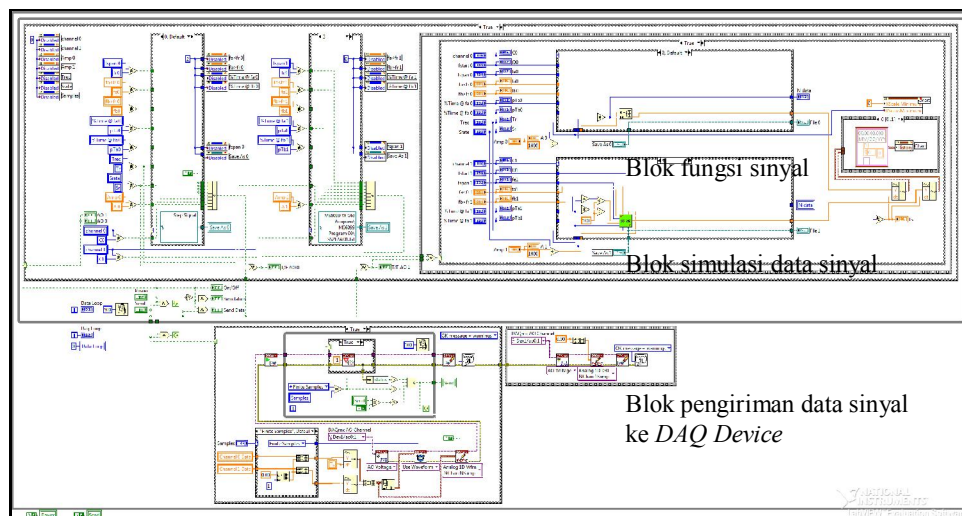
Pada *Block Diagram* dari *Virtual Signal Generator* ini terdapat tiga blok utama, yaitu blok fungsi sinyal *Three-step Swept-sine*, blok simulasi data sinyal *Three-step Swept-sine*, dan blok pengiriman data sinyal *Three-step Swept-sine* ke *DAQ Device*. Blok fungsi sinyal *Three-step Swept-sine* berfungsi untuk memanggil fungsi $u_{S111}(t)$, $u_{S212}(t)$, $u_{S232}(t)$, atau $u_{S535}(t)$ berdasarkan jenis sinyal yang dipilih pada input sinyal di *Front Panel* dari *Virtual Signal Generator*. Sebagai contoh, apabila di *Front Panel* dari *Virtual Signal Generator* dipilih sinyal *S212 Swept-sine*, maka akan dipanggil fungsi $u_{S212}(t)$. *Block Diagram* dari fungsi $u_{S212}(t)$ ini dapat dilihat pada Gambar 3. Blok simulasi data sinyal *Three-step Swept-sine* berfungsi untuk mensimulasikan data sinyal yang dipresentasikan pada grafik yang terdapat di *Front Panel* dari *Virtual Signal Generator*. Blok ini bekerja apabila opsi *Simulation* pada *Front Panel* dari *Virtual Signal Generator* aktif. Blok pengiriman data sinyal *Three-step Swept-sine* ke *DAQ Device* berfungsi untuk mengirimkan data sinyal *Three-step Swept-sine* dengan *sampling rate* $<S/s>$ yang

diinputkan pada *Front Panel* dari *Virtual Signal Generator*. Blok ini bekerja apabila

opsi *Sent Data* pada *Front Panel* dari *Virtual Signal Generator* aktif.



(a)



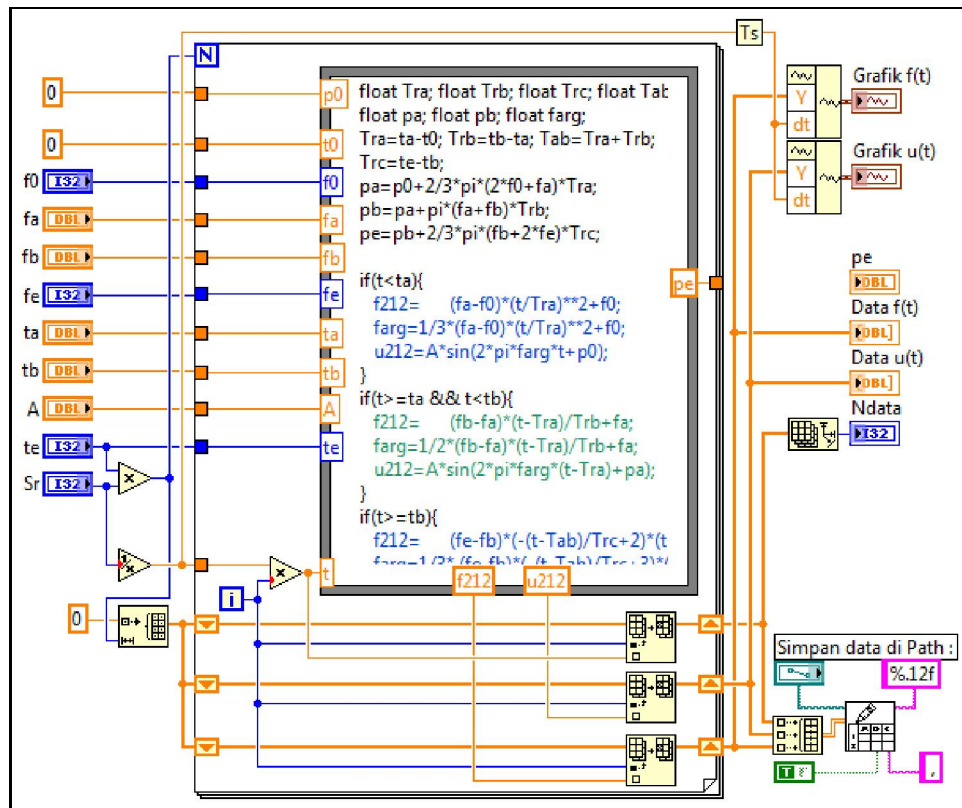
(b)

Gambar 2. *Virtual Signal Generator.* (a) *Front Panel* (b) *Block Diagram*

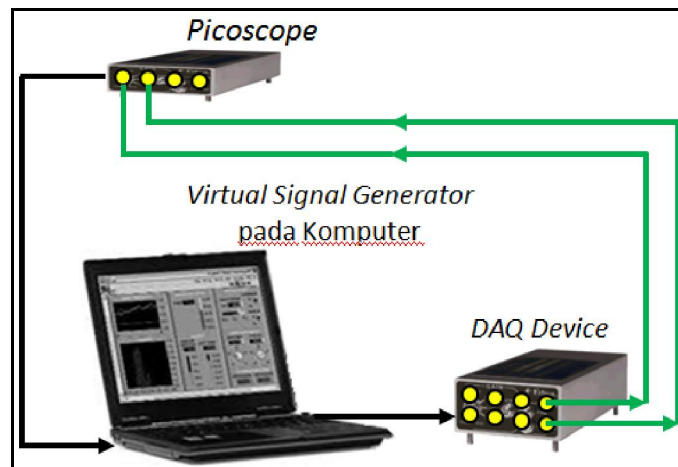
Prosedur untuk memvalidasi sinyal *Three-step Swept-sine* adalah sebagai berikut:

- Hubungkan satu kanal input *DAQ Device* dengan komputer yang memuat *Virtual Signal Generator* dan program *Picoscope* serta hubungkan dua buah kanal output *DAQ Device* ke *Picoscope* yang juga telah dihubungkan ke komputer sebagaimana yang diperlihatkan oleh skema pengujian pada Gambar 4.
- Aktifkan *Virtual Signal Generator* dan program *Picoscope* pada komputer.
- Isikan data input pada *Front Panel* dari *Virtual Signal Generator* untuk melihat simulasi sinyal *Three-step Swept-sine*.
- Pilih sinyal *Step* untuk kanal output-1 *DAQ Device* dan pilih jenis sinyal *Three-step Swept-sine* (S111, S212, S232 atau S535 *Swept-sine*) untuk kanal output-2 *DAQ Device*.
- Untuk mengirimkan data sinyal *Three-step Swept-sine* ke *DAQ Device*, aktifkan opsi *Sent Data* pada *Front Panel* dari *Virtual Signal Generator*.

- Bandingkan data sinyal *Three-step Swept-sine* pada *Virtual Signal Generator* dengan data yang dicuplik oleh *Picoscope*.
- Analisa kesalahan magnitudo sepanjang rentang frekuensi sinyal dan kesalahan waktu *swept* sinyal.



Gambar 3. Block Diagram sinyal S212 Swept-sine.



Gambar 4. Skema pengujian untuk memvalidasi sinyal *Three-step Swept-sine*.

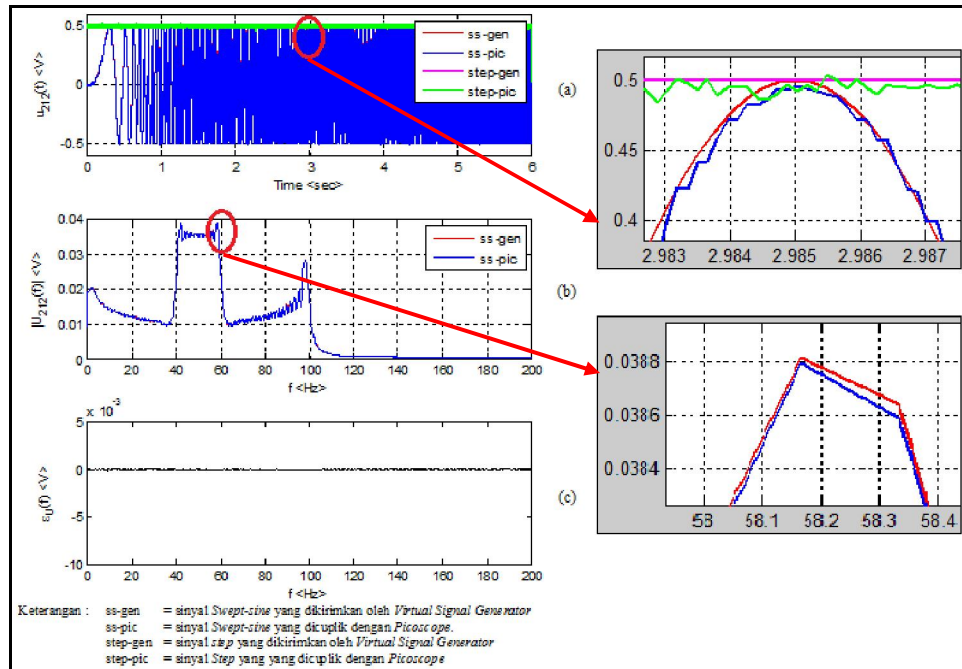
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sinyal *Three-step Swept-sine* yang divalidasi untuk setiap rentang frekuensi dan lama pencuplikan sinyal mempunyai harga

parameter $f_a = 0.8f_c$ dan $t_a = 0.2T_r$ untuk posisi titik P dan harga parameter $f_b = 1.2f_c$ dan $t_b = 0.8T_r$ untuk posisi titik Q. Contoh perbandingan sinyal *Three-step Swept-sine*

pada *Virtual Signal Generator* dengan yang dicuplik oleh *Picoscope* dalam domain waktu diperlihatkan pada Gambar 5(a) dan dalam domain frekuensi diperlihatkan pada Gambar 5(b). Harga kesalahan magnitudo sepanjang

rentang frekuensi sinyal (ϵ_{U_RMS}) dan kesalahan waktu *swept* sinyal (ϵ_{TR}) untuk keempat sinyal *Three-step Swept-sine* dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 5. Sinyal S212 *Swept-sine* dengan rentang frekuensi 0-100 Hz dan $T_r = 6$ s.

Tabel 1. Kesalahan magnitudo sepanjang rentang frekuensi sinyal (ϵ_{U_RMS}) dan kesalahan waktu *swept* sinyal (ϵ_{TR}) untuk keempat sinyal *Three-step Swept-sine*.

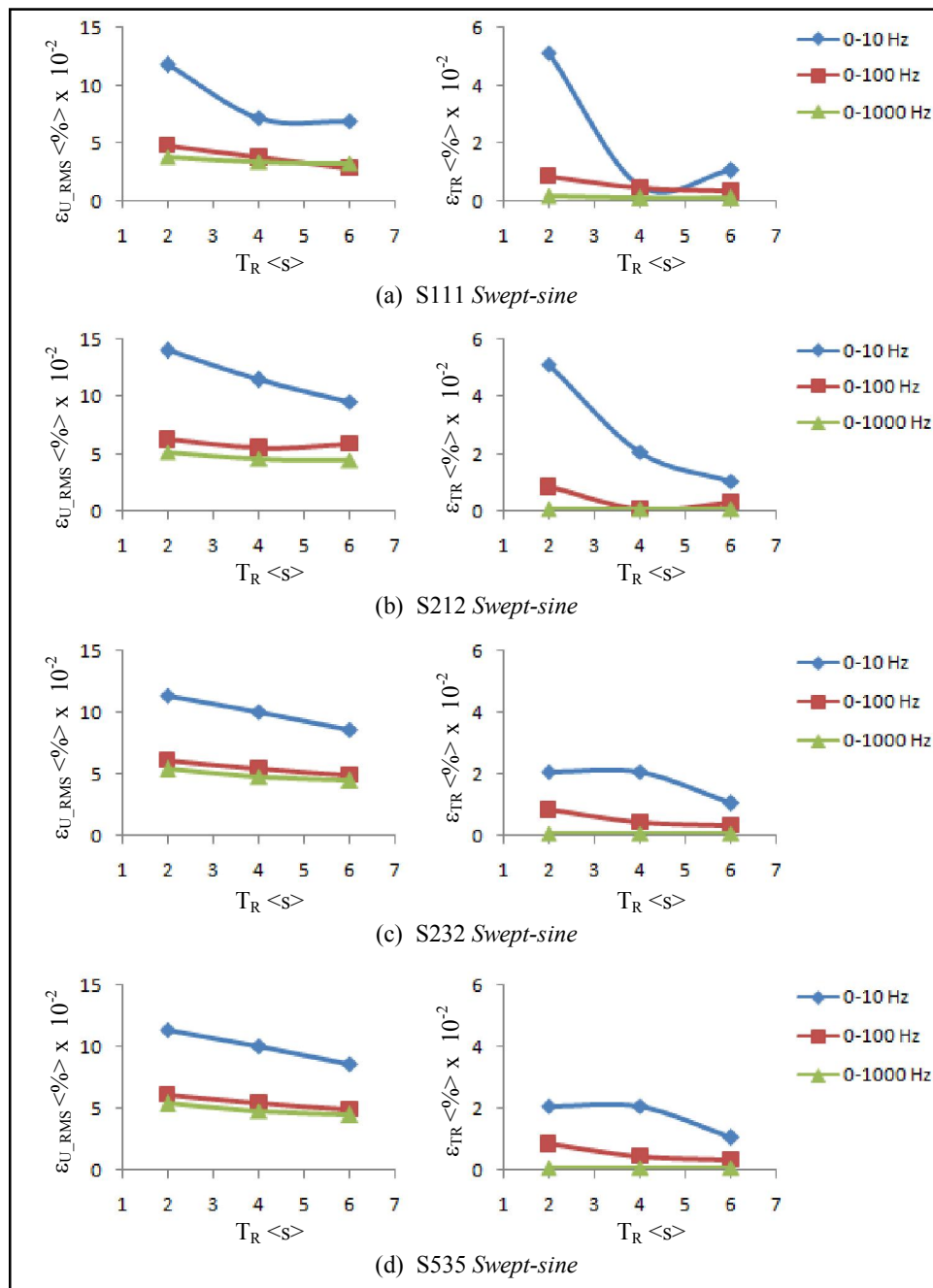
f_0-f_c <Hz>	T_r <s>	$u_{S111}(t)$		$u_{S212}(t)$		$u_{S232}(t)$		$u_{S535}(t)$	
		ϵ_{U_RMS} <%> $\times 10^{-2}$	ϵ_{TR} <%> $\times 10^{-2}$	ϵ_{U_RMS} <%> $\times 10^{-2}$	ϵ_{TR} <%> $\times 10^{-2}$	ϵ_{U_RMS} <%> $\times 10^{-2}$	ϵ_{TR} <%> $\times 10^{-2}$	ϵ_{U_RMS} <%> $\times 10^{-2}$	ϵ_{TR} <%> $\times 10^{-2}$
0-10	2	11.7785	5.1223	13.9876	5.1223	11.4036	2.0695	12.5913	5.1223
	4	7.2163	0.5424	11.4437	2.0695	10.0700	2.0695	11.9184	2.0695
	6	6.9440	1.0515	9.5346	1.0515	8.6119	1.0515	9.3016	1.0515
0-100	2	4.8558	0.8450	6.2121	0.8450	6.0865	0.8450	5.4314	0.8450
	4	3.7645	0.4625	5.5069	0.0801	5.3805	0.4625	4.7516	0.4625
	6	2.8814	0.3350	5.8745	0.3350	4.9021	0.3350	4.4134	0.3350
0-1000	2	3.8678	0.1997	5.1258	0.0997	5.3907	0.0997	4.8713	0.1997
	4	3.3898	0.0997	4.5571	0.0997	4.7827	0.0997	4.3577	0.0997
	6	3.2870	0.0997	4.5030	0.0997	4.4844	0.0997	3.9321	0.0664

Berdasarkan analisa yang dilakukan, diperoleh harga kesalahan magnitudo maksimum sepanjang rentang frekuensi sinyal sebesar $13.9876 \times 10^{-2} \%$ pada sinyal S212 *Swept-sine* dan harga kesalahan magnitudo minimum sepanjang rentang frekuensi sinyal sebesar $3.2870 \times 10^{-2} \%$ pada

sinyal S111 *Swept-sine*. Sedangkan harga kesalahan waktu *swept* maksimum sebesar $5.1223 \times 10^{-2} \%$ pada sinyal S111, S212, dan S535 *Swept-sine* dan harga kesalahan waktu *swept* minimum sebesar $0.0664 \times 10^{-2} \%$ pada sinyal S535 *Swept-sine*. Harga kesalahan magnitudo sepanjang rentang frekuensi sinyal

dan harga kesalahan waktu *swept* sinyal dari keempat sinyal *Three-step Swept-sine* untuk setiap variasi rentang frekuensi uji dan waktu

swept juga dapat dilihat pada Gambar 6(a), 6(b), 6(c), dan 6(d).



Gambar 6. Harga ϵ_{U_RMS} dan harga ϵ_{TR} dari sinyal *Three-step Swept-sine*.

IV. KESIMPULAN

Sebuah *Virtual Signal Generator* untuk membangkitkan sinyal *Three-step Swept-sine* dengan perangkat lunak *LabVIEW* telah berhasil dibuat dan divalidasi secara

ekperimental. Proses validasi menghasilkan perbandingan sinyal *Three-step Swept-sine* yang dicuplik terhadap sinyal *Three-step Swept-sine* yang dibangkitkan. Dari perbandingan ini diperoleh kesalahan magnitudo sepanjang rentang frekuensi sinyal

dan kesalahan waktu *swept* sinyal. Harga kesalahan magnitudo sepanjang rentang frekuensi sinyal yang diperoleh di bawah 0.15% dan harga kesalahan waktu *swept* sinyal yang diperoleh di bawah 0.06 %. Berdasarkan harga kesalahan magnitudo sepanjang rentang frekuensi sinyal dan harga kesalahan waktu *swept* sinyal ini dapat disimpulkan bahwa sinyal *Three-step Swept-sine* valid. Dengan demikian, *Virtual Signal Generator* yang telah diuraikan pada makalah ini dapat dipergunakan untuk membangkitkan sinyal pengekstasi berupa sinyal *Three-step Swept-sine* yang akan dikirim ke *Power Amplifier* untuk mengaktifkan *Shaker* pada pengujian FRF (Fungsi Respon Frekuensi) suatu sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. A. Peres, *et al.*, "Practical Aspects of Shaker Measurements for Modal Testing," in *Proceeding of ISMA 2010*, 2010, pp. 2539-2550.
- [2] D. Cloutier, *et al.*, "Shaker/Stringer Effect on Measured Frequency Response Functions," presented at the *27th IMAC (International Modal Analysis Conference)*, Orlando, Florida, 2009.
- [3] U. Füllekrug, *et al.*, "Measurement of FRFs and Modal Identification in Case of Correlated Multi-Point Excitation," *Shock and Vibration*, vol. 15, pp. 435-445, 2008.
- [4] K. G. McConnell, *Vibration Testing: Theory and Practice*. New York: John Wiley & Sons Inc., 1995.
- [5] N. Haritos, "Swept Sine Wave Testing of Compliant Bottom-Pivoted Cylinders," in *Proceedings of the First (1991) International Offshore and Polar Engineering Conference*, Edinburgh, United Kingdom, 1991.
- [6] J. Zhuge, *Advanced Dynamic Signal Analysis*. Santa Clara: Crystal Instruments Corp., 2009.
- [7] N. Haritos, "The Characteristics of Dynamic Systems via The Swept Sine Wave Technique," *Mathematics and Computers in Simulation*, vol. 28(2), pp. 111-120, 2002.
- [8] N. Baoliang and Y. Xia, "A FFT Based Variety Sampling Rate Sine Sweep Vibration Controller," *IEEE 2003 International Conference on Neural Networks & Signal Processing*, vol. 2, pp. 1714-1718, 2003.
- [9] G. Gloth and M. Sinapsis, "Analysis of Swept-Sine Runs During Modal Identification," *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 18, pp. 1421-1441, 2004.
- [10] G. Gloth and M. Sinapsis, "Influence and Characterisation of Weak Non-Linearities in Swept-Sine Modal Testing," *Aerospace Science and Technology*, vol. 8, pp. 111-120, 2004.
- [11] A. Novák and L. Simon, "Nonlinear System Identification using Exponential Swept-Sine Signal," *Instrumentation and Measurement*, vol. 59(8), pp. 2220-2229, 2010.
- [12] A. Yanto and Z. Abidin, "Numerical and Experimental Study of Swept-sine Excitation Control Method To Increase Accuracy of the FRF Measurement," in *Proceeding of SNTTM and Thermofluid IV*, Yogyakarta, 2012, pp. 2096-2101.
- [13] A. Yanto and Z. Abidin, "Development of Swept-sine Excitation Control Method to Minimize The FRF Measurement Error," *MEVJournal*, vol. 3, pp. 57-64, 2012.
- [14] A. Yanto, "Analysis of Swept Time and Modal Parameter Effect on FRF's Magnitude Error of SDOF System Using Linear Swept-Sine Excitation," *Momentum Journal*, vol. 14, pp. 18-24, 2013.