



**Program Studi Teknik Telekomunikasi - Sekolah Teknik Elektro dan Informatika
Institut Teknologi Bandung**

**Praktikum
Pengolahan Sinyal Waktu Kontinyu**

**Modul 2 :
Deret Fourier dan Respons Frekuensi**

**©Institut Teknologi Bandung
Disusun oleh : Irma Zakia
29 April, 2019**

I. Pendahuluan

Analisis sistem LTI dalam domain frekuensi (analisis Fourier) memberikan manfaat tersendiri, misalnya dalam hal kompresi sinyal yang bergantung dari spektrum energinya, filter, dan penerapan ekualisasi dengan kompleksitas rendah di domain frekuensi. Untuk mengakomodasi analisis Fourier, digunakan sinyal masukan berupa sinusoid kompleks (yaitu sinyal yang didefinisikan pada nilai frekuensi tertentu).

Pada modul ini, sinyal kotak periodik direpresentasikan sebagai kombinasi linear dari sinyal sinus saling harmonik (representasi sinyal kotak dengan deret Fourier). Dikarenakan sinyal sinus merupakan fungsi eigen dari sistem LTI, maka respons sistem terhadap masukan sinyal kotak periodik, dapat diperoleh sebagai kombinasi linear respons terhadap tiap sinyal sinus saling harmonik (sinyal sinus yang *steady-state*). Hubungan antara sinyal sinus saling harmonik dengan responsnya digunakan juga untuk menentukan respons frekuensi dari sistem LTI.

II. Tujuan

- a. Memahami representasi sinyal periodik dengan deret Fourier
- b. Memahami bahwa sinusoid kompleks adalah fungsi eigen dari sistem LTI
- c. Memahami respons sistem LTI terhadap sinyal periodik yang memiliki representasi deret Fourier.
- d. Memahami konsep respons frekuensi

III. Dasar Teori

III.1. Representasi Deret Fourier dari Sinyal Periodik

Sinyal periodik $x(t)$, dengan periode fundamental T , dapat direpresentasikan sebagai kombinasi linear sinyal sinusoid kompleks saling harmonik, dengan tiap sinyal sinusoid harmonik ke- k diberi bobot sesuai dengan koefisien deret Fourier $X[k]$.

Secara matematis, representasi deret Fourier dari sinyal periodik $x(t)$ diekspresikan sebagai

$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} X[k]e^{jk\omega_0 t} \quad (1)$$

dengan ω_0 adalah frekuensi fundamental, dihitung dari $\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$.

Jika $x(t)$ adalah sinyal riil, maka

$$x(t) = x^*(t) \quad (2)$$

dan

$$X[-k] = X^*[k] \quad (3)$$

Dengan menuliskan koefisien deret Fourier sebagai penjumlahan bagian riil $\text{Re}\{X[k]\}$ dan imajiner $\text{Im}\{X[k]\}$

$$X[k] = \text{Re}\{X[k]\} + j\text{Im}\{X[k]\} \quad (4)$$

representasi deret Fourier dari sinyal periodik $x(t)$ menjadi

$$x(t) = X[0] + 2 \sum_{k=1}^{\infty} (\text{Re}\{X[k]\} \cos(k\omega_0 t) - \text{Im}\{X[k]\} \sin(k\omega_0 t)) \quad (5)$$

dengan $X[0]$ adalah komponen sinyal DC.

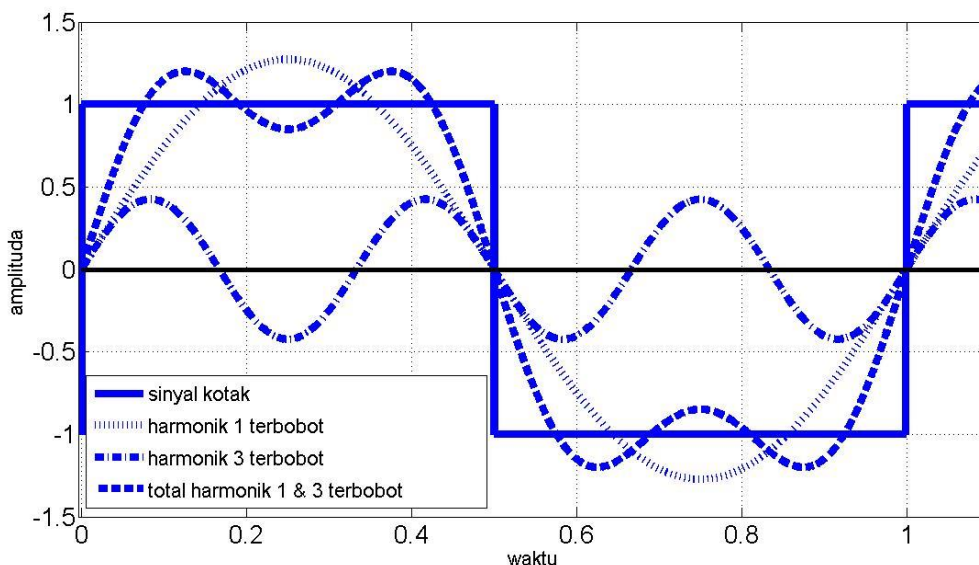
Dari persamaan (5), tampak bahwa koefisien $\text{Re}\{X[k]\}$ terkait dengan fungsi cosinus yang merupakan fungsi genap. Begitu pula dengan $\text{Im}\{X[k]\}$ terkait dengan fungsi sinus yang merupakan fungsi ganjil. Oleh karena itu, jika sinyal periodik berupa fungsi genap, maka $X[k]$ bernilai riil. Begitu pula sebaliknya, jika sinyal periodik berupa fungsi ganjil, maka $X[k]$ bernilai imajiner.

III.2. Sinyal Kotak Periodik Simetris Ganjil

Sinyal kotak periodik simetris ganjil diperlihatkan pada Gbr. 1 (kurva solid). Sinyal kotak tersebut memiliki energi, jumlah titik maksimum, jumlah titik minimum, dan jumlah titik diskontinuitas yang berhingga. Dengan demikian, kita dapat merepresentasikan sinyal kotak periodik simetris ganjil $x(t)$ dalam deret Fourier.

Hasil perhitungan koefisien deret Fourier untuk sinyal kotak simetris ganjil adalah

$$X[k] = \begin{cases} \frac{-j2}{k\pi}, & k = \pm 1, \pm 3, \pm 5, \dots \\ 0, & k \text{ lainnya} \end{cases} \quad (6)$$



Gambar 1. Sinyal kotak simetris ganjil beserta sinyal sinus saling harmonik

Hal ini menunjukkan bahwa sinyal kotak periodik simetris ganjil memiliki harmonisa ganjil. Dengan menggunakan persamaan (6), representasi sinyal kotak $x(t)$ dalam deret Fourier menjadi

$$x(t) = \frac{4}{\pi} \sin(\omega_0 t) + \frac{4}{3\pi} \sin(3\omega_0 t) + \frac{4}{5\pi} \sin(5\omega_0 t) + \dots \quad (7)$$

III.3. Aproksimasi Sinyal Kotak Simetris Ganjil

Jika banyaknya koefisien deret Fourier dari suatu sinyal periodik $x(t)$ diambil terbatas sejumlah N , maka dihasilkan aproksimasi dari representasi deret Fourier sinyal $x(t)$, atau secara matematis

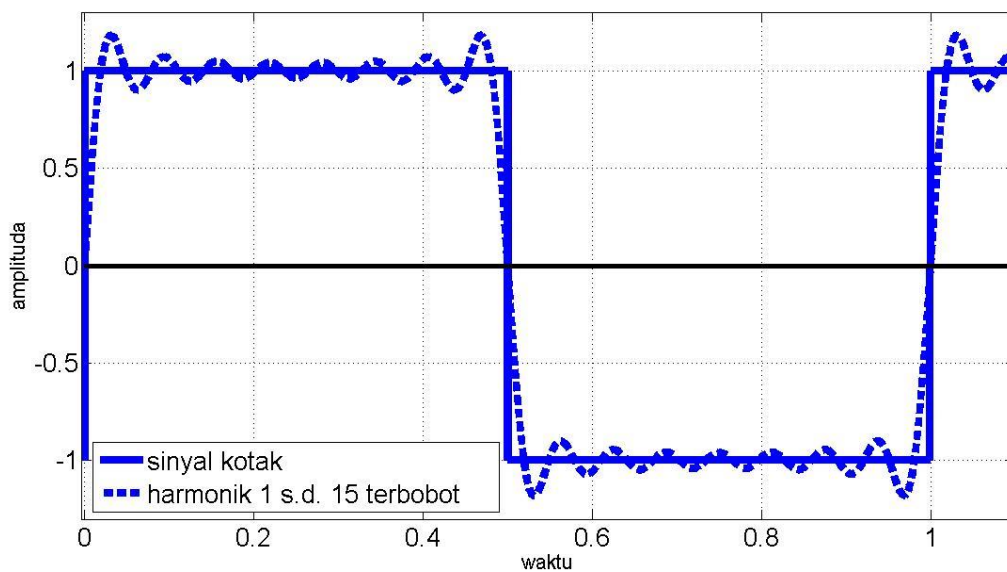
$$x_N(t) = \sum_{k=-N}^N X[k] e^{jk\omega_0 t} \quad (8)$$

Dengan melihat korespondensi antara persamaan (8) dengan Gbr. 1, diperoleh bahwa penjumlahan harmonik ke-1 dan ke-3 terbobot (kurva garis putus) adalah aproksimasi $x(t)$ dengan $N = 3$, atau $x_3(t) = \frac{4}{\pi} \sin(\omega_0 t) + \frac{4}{3\pi} \sin(3\omega_0 t)$.

Semakin banyak jumlah koefisien deret Fourier N yang digunakan untuk merepresentasikan sinyal $x(t)$, semakin kecil energi kesalahan aproksimasi

$$\lim_{N \rightarrow \infty} |x(t) - x_N(t)|^2 = 0 \quad (9)$$

Pada modul ini, kita akan melakukan aproksimasi terhadap sinyal kotak dengan merepresentasikan sinyal kotak sebagai kombinasi linear sinyal sinus saling harmonik, sampai dengan harmonik ke-15 ($N = 15$). Aproksimasi sinyal kotak simetris ganjil dengan menggunakan 15 koefisien deret Fourier $x_{15}(t)$ diilustrasikan pada Gbr. 2 (kurva garis putus).



Gbr. 2 Aproksimasi sinyal kotak simetris ganjil $x_{15}(t)$

Secara spesifik, sinyal kotak periodik simetris ganjil dengan frekuensi 200 Hz diaproksimasi dengan sinyal sinus saling harmonik sebanyak $N = 15$. Tiap sinyal sinus memiliki frekuensi sesuai Tabel 1.

Tabel 1. Sinyal sinus saling harmonik yang dibangkitkan

Frekuensi	Harmonik ke-
200 Hz	1
600 Hz	3
1000 Hz	5
1400 Hz	7
1800 Hz	9
2200 Hz	11
2600 Hz	13
3000 Hz	15

III.4. Respons Frekuensi

Respons frekuensi $H(j\omega)$ adalah respons sistem LTI terhadap masukan sinyal sinusoid yang *steady-state*, dengan frekuensi ω . Hal ini merujuk pada sifat eigen dari sinyal sinusoid pada sistem LTI, yaitu jika sistem LTI diberi masukan

$$x(t) = e^{j\omega t} \quad (10)$$

maka luaran sistem LTI adalah

$$y(t) = H(j\omega)e^{j\omega t} \quad (11)$$

yang dalam konteks ini, $H(j\omega)$ adalah nilai eigen.

Respons frekuensi bernilai kompleks. Bentuk polar dari respons frekuensi ditulis sebagai

$$H(j\omega) = |H(j\omega)|e^{j(\arg(H(j\omega)))}, \quad -\infty < \omega < \infty \quad (12)$$

dengan $|H(j\omega)|$ menyatakan respons magnituda dan $\arg(H(j\omega))$ adalah respons fasa.

Pada sistem riil, respons magnituda merupakan fungsi genap

$$|H(j\omega)| = |H(-j\omega)| \quad (13)$$

sedangkan respons fasa merupakan fungsi ganjil

$$\arg(H(j\omega)) = -\arg(H(-j\omega)) \quad (14)$$

III.5. Pengukuran Respons Frekuensi

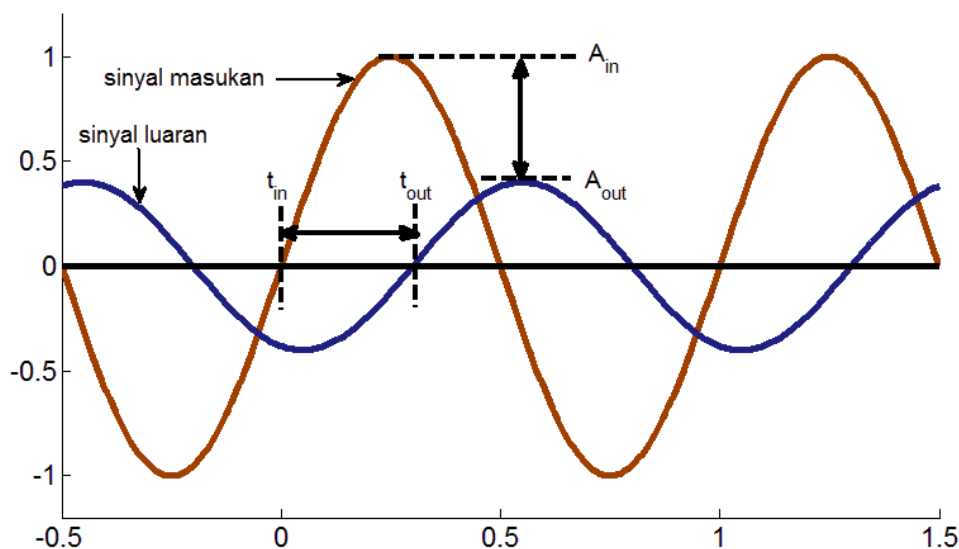
Pada percobaan pengukuran respons frekuensi, digunakan sinyal masukan berupa sinus

$$x(t) = \sin(\omega t) \quad (15)$$

Sesuai dengan definisi respons frekuensi pada III.4., untuk masukan berupa sinyal sinus, keluaran sistem menjadi

$$y(t) = |H(j\omega)| \sin(\omega t + \arg(H(j\omega))) \quad (16)$$

Dari persamaan (16), pengukuran respons frekuensi dapat dilakukan dengan mengambil beberapa nilai frekuensi sinus ω yang berbeda pada bagian masukan. Setelah itu, respons frekuensi ditentukan melalui pengamatan terhadap perubahan amplituda dan fasa pada sinyal sinus bagian keluaran, seperti terlihat pada Gbr. 3.



Gbr. 3 Perubahan amplituda dan fasa pada sinyal sinus keluaran

Sesuai dengan persamaan (12), respons frekuensi ditentukan untuk nilai ω yang kontinyu. Akan tetapi, untuk keperluan percobaan cukup diambil beberapa nilai ω yang representatif. Pada modul ini, nilai ω diwakili oleh frekuensi dari sinus saling harmonik. Jika ω_k adalah frekuensi sinus yang dibangkitkan dalam penentuan respons frekuensi, maka nilai frekuensi tersebut memiliki hubungan dengan frekuensi sinus saling harmonik sebagai

$$\omega_k = k\omega_0 \quad (17)$$

Untuk sinyal sinus masukan dengan frekuensi sudut ω_k dan periode T_k , respons magnituda pada $\omega = \omega_k$ ditentukan melalui

$$|H(j\omega_k)| = \left| \frac{A_{out;k}}{A_{in;k}} \right| \quad (18)$$

dengan $A_{in;k}$ dan $A_{out;k}$ masing-masing menyatakan amplituda maksimum pada sinyal masukan dan luaran dengan frekuensi ω_k .

Penentuan respons fasa dilakukan dengan melihat perbedaan waktu antara sinyal masukan t_{in} dan sinyal luaran t_{out} seperti diilustrasikan Gbr. 3. Hal ini dikarenakan fasa dari suatu sinyal periodik berubah 2π dalam tiap periode.

Dengan parameter t_{in} menyatakan waktu saat sinyal masukan memotong sumbu waktu dengan gradien positif dan t_{out} adalah titik pertama berikutnya saat sinyal luaran memotong sumbu waktu dengan gradien positif, besarnya respons fasa pada frekuensi sudut $\omega = \omega_k$

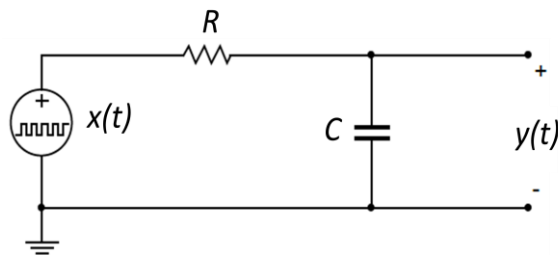
$$\arg(H(j\omega_k)) = \frac{t_{in} - t_{out}}{T_k} \cdot 2\pi \quad (19)$$

Dikarenakan sistem bersifat kausal (direalisasikan sebagai rangkaian RC), respons fasa *hasil pengukuran* akan berada pada rentang $-\pi \leq \arg(H(j\omega_k)) \leq 0$.

Pada percobaan, sistem bersifat riil (komponen R dan C riil). Selain itu, hanya sinus dengan frekuensi sudut $\omega \geq 0$ yang dapat dibangkitkan dan diukur respons frekuensinya secara fisis. Respons magnituda dan respons fasa untuk $\omega < 0$, ditentukan dari sifat transformasi Fourier untuk sistem riil sesuai persamaan (13) dan (14).

III.6. Rangkaian RC

Pada modul ini, percobaan representasi sinyal periodik dengan deret Fourier dan percobaan respons frekuensi menggunakan rangkaian RC orde satu sesuai Gbr. 4.



Gbr. 4. Rangkaian RC orde satu [3]

Hubungan tegangan masukan $x(t)$ dengan tegangan kapasitor sebagai luaran $y(t)$ pada rangkaian RC dapat ditulis dalam bentuk persamaan diferensial

$$RC \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = x(t) \quad (20)$$

Dengan menggunakan (10) dan (11), respons frekuensi sistem menjadi

$$H(j\omega) = \frac{1}{j\omega RC + 1} \quad (21)$$

III.7. Respons Sistem LTI terhadap Sinyal Masukan Periodik

Jika sinyal periodik $x(t)$, dengan frekuensi fundamental ω_0 , memiliki representasi deret Fourier, maka respons sistem LTI terhadap $x(t)$ dapat ditulis sebagai kombinasi linear respons terhadap tiap sinyal sinus saling harmonik (sinus yang *steady-state*). Dalam konteks ini, sinyal sinus saling harmonik yang dimaksud adalah sinyal sinus yang digunakan untuk merepresentasikan $x(t)$ sesuai persamaan (1).

Respons sistem LTI terhadap sinyal masukan periodik adalah

$$y(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} H(jk\omega_0)X[k]e^{jk\omega_0 t} \quad (22)$$

dengan parameter $H(jk\omega_0)$ menyatakan respons sistem pada frekuensi $k\omega_0$. Respons sistem tersebut dihitung dari

$$H(jk\omega_0) = H(j\omega)|_{\omega=k\omega_0} \quad (23)$$

Dengan menggunakan masukan sinyal kotak periodik simetris ganjil pada rangkaian RC, respons sistem menjadi

$$y(t) = \frac{4}{\pi} \left| \frac{1}{j\omega_0 RC + 1} \right| \sin \left(\omega_0 t + \arg \left(\frac{1}{j\omega_0 RC + 1} \right) \right) + \frac{4}{3\pi} \left| \frac{1}{j3\omega_0 RC + 1} \right| \sin \left(3\omega_0 t + \arg \left(\frac{1}{j3\omega_0 RC + 1} \right) \right) + \frac{4}{5\pi} \left| \frac{1}{j5\omega_0 RC + 1} \right| \sin \left(5\omega_0 t + \arg \left(\frac{1}{j5\omega_0 RC + 1} \right) \right) + \dots \quad (24)$$

IV. Persiapan Percobaan

IV.1. Peralatan yang Diperlukan

Pada percobaan ini, diperlukan peralatan sebagai berikut:

1. Modul Edibon M2
2. Generator sinyal
3. Osiloskop
4. Kabel probe sebanyak 3 buah
5. Kabel jumper
6. Flash Disk (disediakan oleh praktikan)
7. Kalkulator (disediakan oleh praktikan)
8. Desktop dengan perangkat lunak Matlab

IV.2. Setting Trigger pada Osiloskop

Setting trigger pada osiloskop diberikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Setting trigger pada osiloskop

Jenis Trigger	Keterangan
Mode	Edge
Coupling untuk masukan sinyal DC (unit step)	DC coupling
Coupling untuk masukan sinus saling harmonik dan sinyal kotak simetris ganjil	AC coupling
Slope	Positive
Position	Centered
Source selector	Ch 1 (sinyal masukan)

IV.3. Switch pada Modul Edibon M2

Pastikan semua switch pada modul berada pada posisi 1, sehingga modul bebas dari sinyal gangguan yang disengaja.

V. Percobaan

V.1. Pengambilan data

Pada tahap ini, akan dilakukan pengambilan data untuk melihat bahwa kombinasi linear dari sinyal sinusoid saling harmonik dapat digunakan untuk merepresentasikan sinyal periodik. Selain itu, respons sistem LTI terhadap sinyal masukan periodik dapat diperoleh sebagai kombinasi linear respons terhadap tiap sinyal sinus saling harmonik (sinus yang *steady-state*). Dengan demikian, pengambilan data dilakukan baik pada bagian masukan maupun luaran sistem LTI, yang nanti bermanfaat juga dalam menentukan respons frekuensi sistem.

Pada bagian V.1.1., data yang diambil berupa sinyal masukan kotak periodik beserta luarannya. Sementara itu, pengambilan data sinyal masukan berupa sinus saling harmonik beserta luarannya dijelaskan pada bagian V.1.2. Modul percobaan ini juga bertujuan untuk memahami konsep respons frekuensi. Selain menggunakan masukan sinus dengan frekuensi sesuai Tabel 1, penentuan respons magnituda juga memerlukan respons sistem terhadap masukan sinyal DC. Percobaan dengan masukan berupa sinyal DC dijelaskan pada bagian V.1.3.

V.1.1. Sinyal periodik sebagai referensi

Langkah-langkah percobaan:

1. Buatlah rangkaian seperti Gbr. 4, dengan nilai $R = 10 \text{ k}\Omega$ dan $C = 100 \text{ nF}$. Pada modul Edibon M2, nilai yang bersesuaian terdapat pada R_4 dan C_5 .
2. Bangkitkan sinyal kotak periodik frekuensi 200 Hz, tegangan +1 sampai -1 V, dan duty cycle 50%. Tegangan +1 sampai -1 V diperoleh dengan memasukkan tegangan *peak-to-peak* 2 V dan offset DC 0 V.
3. Gunakan skala tegangan dan waktu pada Ch 1 dan Ch 2 osiloskop
 - a. Skala tegangan 500 mV/div
 - b. Skala waktu 1 ms/div
4. Lihat sinyal masukan dan luaran pada osiloskop.
5. Simpan data tegangan masukan versus waktu, dan tegangan luaran versus waktu pada Flash Disk. Gunakan ekstensi file .csv. Dengan demikian, file .csv memuat 3 buah informasi yaitu waktu, tegangan masukan (Ch 1), dan tegangan luaran (Ch 2).
6. Untuk percobaan V.1.2, **jangan ubah skala osiloskop, termasuk referensi waktu $t = 0$.**

V.1.2. Sinyal sinus saling harmonik sebagai komponen pembentuk sinyal periodik

Langkah-langkah percobaan:

1. Buatlah rangkaian seperti Gbr. 4, dengan nilai $R = 10 \text{ k}\Omega$ dan $C = 100 \text{ nF}$. Pada modul Edibon M2, nilai yang bersesuaian terdapat pada R_4 dan C_5 .
2. Bangkitkan sinyal masukan berupa sinus dengan frekuensi 200 Hz dan tegangan +1 sampai -1 V. Tegangan +1 sampai -1 V diperoleh dengan memasukkan tegangan *peak-to-peak* 2 V dan offset DC 0 V.
3. Lihat sinyal masukan dan luaran pada osiloskop. Skala osiloskop dan referensi waktu $t = 0$ mengikuti nilai yang digunakan pada percobaan V.1.1.
4. Simpan data tegangan masukan versus waktu dan tegangan luaran versus waktu pada Flash Disk. Gunakan ekstensi file .csv. Dengan demikian, file .csv memuat 3 buah informasi yaitu waktu, tegangan masukan (Ch 1), dan tegangan luaran (Ch 2).
5. Ulangi langkah 1-4 untuk masukan sinus dengan frekuensi : 600 Hz, 1000 Hz, 1400 Hz, 1800 Hz, 2200 Hz, 2600 Hz, dan 3000 Hz.

V.1.3. Sinyal DC

Langkah-langkah percobaan adalah:

1. Buatlah rangkaian seperti Gbr. 4, dengan nilai $R = 10 \text{ k}\Omega$ dan $C = 100 \text{ nF}$. Pada modul Edibon M2, nilai yang bersesuaian terdapat pada R_4 dan C_5 .
2. Bangkitkan tegangan DC berupa unit step bernilai 1 V. Karena keterbatasan jenis sinyal yang dapat dibangkitkan, maka bangkitkan sinyal kotak periodik frekuensi 100 Hz, duty cycle 60%. Nilai tegangan 1 V dapat dicapai dengan tegangan *peak-to-peak* 1V dan offset DC 500 mV. Pengamatan sinyal masukan dan luaran nantinya cukup dilakukan untuk satu periode.
6. Gunakan skala tegangan dan waktu pada Ch 1 dan Ch 2 osiloskop
 - a. Skala tegangan 500 mV/div
 - b. Skala waktu 2 ms/div
7. Lihat sinyal masukan dan luaran pada osiloskop.
8. Simpan data tegangan masukan versus waktu, dan tegangan luaran versus waktu pada Flash Disk. Gunakan ekstensi file .csv. Dengan demikian, file .csv memuat 3 buah informasi yaitu waktu, tegangan masukan (Ch 1), dan tegangan luaran (Ch 2).

V.2. Pengolahan data dengan bantuan perangkat lunak Matlab

Pada tahap ini, sinyal masukan dan responsnya diolah dengan bantuan Matlab. Pada bagian V.2.1, sinyal sinusoid saling harmonik (yang diberi bobot sesuai dengan nilai koefisien deret Fourier-nya), digunakan untuk merepresentasikan sinyal periodik kotak dengan deret Fourier. Selain itu, sistem terhadap masukan sinyal kotak periodik diperoleh dengan kombinasi linear respons terhadap tiap sinyal sinus saling harmonik (sinus yang *steady-state*). Validasi hasil representasi sinyal periodik kotak beserta responsnya dilakukan dengan membandingkan hasil yang diperoleh dengan sinyal referensi. Selanjutnya pada bagian V.2.2., respons frekuensi sistem LTI ditentukan dengan analisis data tegangan masukan, berupa sinyal DC dan sinyal sinusoid saling harmonik, beserta responsnya terhadap masukan yang bersesuaian (hasil percobaan V.1.2. dan V.1.3.).

Sebelum melakukan pengolahan data, pindahkan data dari Flash Disk ke perangkat lunak Matlab pada desktop PC. Simpan data pada folder baru berlokasi di C:\Users\radartelkom_1\Desktop\Praktikum S1\Praktikum PSWK\Semester 2 2016 2017\Modul 2\nama folder (misal nama kelompok)

V.2.1. Representasi Sinyal Periodik dengan Deret Fourier

Langkah-langkah percobaan:

1. Pastikan jendela utama Matlab tertaut pada lokasi folder yang telah Anda buat
2. Buat script baru berupa m-file dengan perintah File→New→Script. Simpan m-file pada folder yang telah Anda buat.
3. Panggil file .csv (sebanyak 10 file), yang masing-masing berisi tegangan masukan sinyal kotak periodik, sinyal sinusoid saling harmonik, dan sinyal DC, beserta responsnya terhadap masukan yang bersesuaian. Simpan hasil pembacaan tiap file .csv pada suatu matriks/variabel. Gunakan perintah:

```
nama_matriks = dlmread('nama file.csv',' ', 2,0);
```

Pada matriks tersebut, kolom 1,2, dan 3, masing-masing berisi waktu, tegangan masukan, dan tegangan luaran. Gunakan informasi ini untuk melakukan pengolahan terhadap isi matriks.

4. Lakukan representasi terhadap sinyal kotak periodik (simetris ganjil) yaitu dengan menuliskannya sebagai kombinasi linear sinyal sinus saling harmonik. Jangan lupa sinyal tiap sinyal sinus saling harmonik diberi bobot berupa nilai koefisien deret Fourier yang bersesuaian. Dikarenakan semua sinyal masukan terdapat pada kolom ke-2 dari matriks hasil pembacaan file .csv, gunakan perintah berikut untuk mengambil data sinyal masukan:

```
nama_matriks(:,2)
```

5. Bandingkan hasilnya dengan sinyal masukan referensi, yaitu sinyal kotak periodik. Perbandingan dilakukan dengan menampilkan gambar kedua sinyal (sinyal kotak periodik dan representasi deret Fourier-nya) melalui perintah:

```
plot(nama_matriks_xx(:,2)), hold on, plot(aprox_input, 'red')
```

Keterangan:

- nama_matriks_xx adalah matriks yang memuat sinyal kotak periodik, diberi warna biru (warna *default*)
- aprox_input adalah nama vektor yang berisi aproksimasi sinyal kotak periodik, diberi warna merah

Jika diperlukan, gambar dapat disimpan dengan perintah File→Save as→nama gambar. Gunakan ekstensi file .fig.

6. Apakah hasil representasi sinyal kotak periodik sesuai harapan Anda? Jelaskan.
7. **Ulangi langkah 4-6** untuk mengetahui respons sistem LTI terhadap masukan sinyal kotak periodik, yang dihitung melalui kombinasi linear respons sistem terhadap tiap sinyal sinus saling harmonik. Jangan lupa untuk memberi bobot tiap respons tersebut dengan koefisien deret Fourier yang bersesuaian. Lakukan penyesuaian perintah Matlab dikarenakan data respons sistem luaran terdapat pada kolom ke-3 dari matriks hasil pembacaan file .csv.

V.2.2. Respons Frekuensi

Pada prinsipnya, penentuan respons frekuensi secara eksperimen dilakukan dengan mengambil nilai-nilai frekuensi sinusoid yang representatif, sehingga dihasilkan kurva repons yang terhubung mulus. Secara kebetulan dari percobaan deret Fourier, masukan sinus yang saling harmonik beserta responsnya, dapat digunakan juga untuk menentukan respons frekuensi rangkaian RC. Akan tetapi, respons dari masukan DC (sinus frekuensi 0) perlu ditambahkan pada percobaan V.2.2. berikut ini.

Langkah-langkah percobaan:

1. Gunakan data dari hasil percobaan V.1.2. dan V.1.3. (yaitu tegangan masukan berupa sinus frekuensi 200Hz, 600 Hz, 1000 Hz, 1400 Hz, 1800 Hz, 2200 Hz, 2600 Hz, dan 3000 Hz, dan sinyal DC, beserta responsnya terhadap masukan yang bersesuaian) untuk

menghitung respons frekuensi (yaitu respons magnituda dan respons fasa) dari rangkaian RC.

2. Untuk respons sistem terhadap masukan sinyal DC, bagian sinyal luaran yang menjadi fokus adalah saat kondisi DC *steady-state* sudah tercapai. Mengapa demikian?
3. Tampilkan gambar tiap pasangan sinyal masukan dan responsnya dengan perintah

```
plot(nama_matriks_xx(:,2)), hold on, plot(nama_matriks_yy(:,3), 'red')
```

Keterangan:

- nama_matriks_xx adalah matriks yang memuat sinyal masukan frekuensi tertentu, kurva diberi warna biru (warna *default*)
 - nama_matriks_yy adalah matriks yang memuat respons sistem untuk masukan yang bersesuaian, kurva diberi warna merah
4. Tentukan besarnya respons magnituda dan respons fasa dari tampilan yang dihasilkan. Gunakan persamaan (18) dan (19). Catat nilainya pada logbook.
 5. Dengan menggunakan persamaan (21) dan (23), hitung respons magnituda dan respons fasa teoritis dari rangkaian RC untuk nilai frekuensi sesuai Tabel 1 dan juga frekuensi 0 Hz (sinyal DC). Tulis nilainya pada logbook.
 6. Gambarkan respons frekuensi hasil percobaan dan teoritis pada logbook.
 7. Apakah respons frekuensi hasil percobaan sesuai dengan hasil perhitungan teoritis? Jelaskan.
 8. Dilihat dari respons magnitudanya, berfungsi sebagai apa rangkaian RC tersebut?

VI. Tugas pada Laporan

Hal-hal yang harus terdapat pada laporan:

1. Semua pertanyaan yang ada pada langkah-langkah percobaan
2. Perbandingan antara hasil percobaan dengan nilai teoritis pada percobaan representasi sinyal periodik simetris ganjil dengan deret Fourier
3. Perbandingan antara hasil percobaan dengan nilai teoritis pada percobaan respons sistem LTI terhadap sinyal periodik
4. Perbandingan antara hasil percobaan dengan nilai teoritis pada percobaan respons frekuensi

VII. Referensi

1. Alan V. Oppenheim, Alan S. Willsky, with S. Hamid, Signals and Systems, 2nd edition, Prentice-Hall, 1996.
2. Simon Haykin, Barry Van Veen, Signals and Systems, 2nd edition, John Wiley & Sons, Inc., 2004.
3. <http://www.swarthmore.edu/NatSci/echeeve1/Class/e12/>