

**Faizal Arya Samman  
Rhiza Samsoe'oad Sadjad**  
Universitas Hasanuddin

---

**Buku Penuntun  
Praktikum Elektronika Daya  
dan Kendali Motor  
(21D04141103)**

**Penguatan Kompetensi Analisis dengan  
SPICE dan Perancangan Alat**

---



**Laboratorium Elektronika Daya  
Universitas Hasanuddin**





UNIVERSITAS HASANUDDIN  
FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
LABORATORIUM ELEKTRONIKA DAYA

KODE MATAKULIAH: 21D04141103

---

## Laporan Praktikum Elektronika Daya dan Kendali Motor

---

Praktikum dilaksanakan pada Semester II Tahun Ajaran ...../.....  
di Laboratorium Elektronika Daya.

DOSEN PENGAMPU: PROF. DR.-ING. IR. FAIZAL ARYA SAMMAN  
DR. IR. RHIZA S. SADJAD, MSEE

### Laporan Praktikum

Modul ke (Lingkari salah satu):

1 2 3 4 5 6 7 8

Judul Modul :

.....

.....

*Disusun oleh Praktikan:*

Nama : .....

NIM : .....



# Daftar Isi

Daftar Tabel	v
Daftar Gambar	viii
Daftar Listing Program	ix
<b>1 Penuntun Penggunaan PSpice versi Cadence OrCAD</b>	<b>1</b>
1.1 Tujuan dan sasaran	1
1.2 Memulai Program SPICE	2
<b>2 Piranti dan Komponen Elektronika Daya</b>	<b>17</b>
2.1 Tujuan dan sasaran	17
2.2 Landasan Pemahaman	18
2.3 Soal-soal Teori Dasar	19
2.4 Persiapan Alat dan Bahan	20
2.5 Pelaksanaan	20
2.5.1 Model SPICE Rangkaian SCR	20
2.5.2 Model SPICE Rangkaian IGBT	22
2.5.3 Model SPICE Rangkaian Power MOSFET	24
2.5.4 Hasil Simulasi dan Analisis	25
2.5.5 Perancangan dan Pengujian Alat	26
2.6 Rangkuman	26
<b>3 Penyearah Berbasis Thyristor SCR</b>	<b>29</b>
3.1 Tujuan dan sasaran	29
3.2 Landasan Pemahaman	30
3.3 Soal-soal Teori Dasar	30
3.4 Persiapan Alat dan Bahan	30
3.5 Pelaksanaan	31
3.5.1 Pemrograman SPICE	31
3.5.2 Hasil Simulasi dan Analisis	33

3.5.3	Perancangan dan Pengujian Alat . . . . .	34
3.6	Rangkuman . . . . .	34
<b>4</b>	<b>Inverter Satu-Fasa</b>	<b>35</b>
4.1	Tujuan dan sasaran . . . . .	35
4.2	Landasan Pemahaman . . . . .	36
4.3	Soal-soal Teori Dasar . . . . .	37
4.4	Persiapan Alat dan Bahan . . . . .	37
4.5	Pelaksanaan . . . . .	38
4.5.1	Pemrograman SPICE . . . . .	38
4.5.2	Hasil Simulasi dan Analisis . . . . .	40
4.5.3	Perancangan dan Pengujian Alat . . . . .	40
4.6	Rangkuman . . . . .	40
<b>5</b>	<b>Konverter DC-DC</b>	<b>43</b>
5.1	Tujuan dan sasaran . . . . .	43
5.2	Landasan Pemahaman . . . . .	44
5.3	Soal-soal Teori Dasar . . . . .	45
5.4	Persiapan Alat dan Bahan . . . . .	45
5.5	Pelaksanaan . . . . .	46
5.5.1	Pemrograman SPICE . . . . .	46
5.5.2	Hasil Simulasi dan Analisis . . . . .	47
5.5.3	Perancangan dan Pengujian Alat . . . . .	48
5.6	Rangkuman . . . . .	48
<b>6</b>	<b>Inverter 3-Fasa dan Kendali Motor Listrik</b>	<b>49</b>
6.1	Tujuan dan sasaran . . . . .	49
6.2	Landasan Pemahaman . . . . .	50
6.3	Soal-soal Teori Dasar . . . . .	50
6.4	Persiapan Alat dan Bahan . . . . .	51
6.5	Pelaksanaan . . . . .	51
6.5.1	Pemrograman SPICE . . . . .	51
6.5.2	Hasil Simulasi dan Analisis . . . . .	51
6.5.3	Perancangan dan Pengujian Alat . . . . .	52
6.6	Rangkuman . . . . .	52
<b>7</b>	<b>Inverter Tiga-Fasa Terkoneksi Grid</b>	<b>53</b>
7.1	Tujuan dan sasaran . . . . .	53
7.2	Landasan Pemahaman . . . . .	54
7.3	Soal-soal Teori Dasar . . . . .	54
7.4	Persiapan Alat dan Bahan . . . . .	54
7.5	Pelaksanaan . . . . .	54
7.5.1	Pemrograman SPICE . . . . .	54
7.5.2	Hasil Simulasi dan Analisis . . . . .	54

7.5.3 Perancangan dan Pengujian Alat . . . . .	55
7.6 Rangkuman . . . . .	55
<b>8 Pengisi Baterai Listrik</b>	<b>57</b>
8.1 Tujuan dan sasaran . . . . .	57
8.2 Landasan Pemahaman . . . . .	58
8.3 Soal-soal Teori Dasar . . . . .	58
8.4 Persiapan Alat dan Bahan . . . . .	58
8.5 Pelaksanaan . . . . .	58
8.5.1 Pemrograman SPICE . . . . .	58
8.5.2 Hasil Simulasi dan Analisis . . . . .	58
8.5.3 Perancangan dan Pengujian Alat . . . . .	59
8.6 Rangkuman . . . . .	59
<b>9 Aplikasi Elektronika Daya pada Sistem Transmisi AC Fleksibel (FACTS)</b>	<b>61</b>
9.1 Tujuan dan sasaran . . . . .	61
9.2 Landasan Pemahaman . . . . .	62
9.3 Soal-soal Teori Dasar . . . . .	62
9.4 Persiapan Alat dan Bahan . . . . .	62
9.5 Pelaksanaan . . . . .	62
9.5.1 Pemrograman SPICE . . . . .	62
9.5.2 Hasil Simulasi dan Analisis . . . . .	62
9.5.3 Perancangan dan Pengujian Alat . . . . .	63
9.6 Rangkuman . . . . .	63
<b>10 Aplikasi Elektronika Daya pada Sistem Energi Terbarukan</b>	<b>65</b>
10.1 Tujuan dan sasaran . . . . .	65
10.2 Landasan Pemahaman . . . . .	66
10.3 Soal-soal Teori Dasar . . . . .	66
10.4 Persiapan Alat dan Bahan . . . . .	66
10.5 Pelaksanaan . . . . .	66
10.5.1 Pemrograman SPICE . . . . .	66
10.5.2 Hasil Simulasi dan Analisis . . . . .	67
10.5.3 Perancangan dan Pengujian Alat . . . . .	67
10.6 Rangkuman . . . . .	67
<b>Daftar Pustaka</b>	<b>68</b>



# Daftar Tabel

2.1	Contoh rating operasi dari sebuah piranti dioda daya. . . . .	18
-----	---	----



# Daftar Gambar

1.1	Jendela software aplikasi OrCAD. . . . .	2
1.2	Aktivasi jendela-jendela pada software aplikasi OrCAD. . . . .	3
1.3	Tampilan program di dalam jendela <i>Circuit Text</i> . . . . .	4
1.4	Diagram skematika acuan untuk <i>Circuit Text</i> pada <b>Listing 1.1</b> . . . . .	5
1.5	Langkah untuk menyimpan file <i>Circuit Text</i> . . . . .	7
1.6	Langkah untuk membuka file <i>Circuit Text</i> . . . . .	8
1.7	Jendela untuk menambahkan trace kurva variabel atau ekspresi variabel ke dalam Jendela <i>Waveform</i> . . . . .	9
1.8	Jendela <i>Waveform</i> dan pengamatan <i>Cursor</i> setiap kurva. . . . .	10
1.9	Cara menggunakan <i>Cursor</i> pada Jendela <i>Waveform</i> . . . . .	11
1.10	Jendela untuk menambahkan jendela plot ke dalam Jendela <i>Waveform</i> . . . . .	12
1.11	Jendela tampilan teks output simulasi. . . . .	13
1.12	Jendela untuk men-copy Jendela <i>Waveform</i> ke <i>Clipboard</i> . . . . .	14
1.13	Bentuk gambar yang telah disisipkan dengan 2 opsi. . . . .	15
2.1	Fotografi piranti elektronika daya. . . . .	18
2.2	Diagram skematika acuan untuk <i>Circuit Text</i> pada <b>Listing 2.2</b> . . . . .	21
2.3	Diagram skematika acuan untuk <i>Circuit Text</i> pada <b>Listing 2.3</b> . . . . .	23
2.4	Diagram skematika acuan untuk <i>Circuit Text</i> pada <b>Listing 2.4</b> . . . . .	24
2.5	Hasil simulasi program SPICE. . . . .	26
3.1	Diagram skematika rangkaian penyearah berbasis SCR. . . . .	31
3.2	Diagram skematika rangkaian penyearah berbasis SCR dan Dioda. . . . .	32

4.1	Diagram skematika rangkaian Inverter Satu-Fasa jenis Dioda-Jepitan ( <i>Diode-Clamped Multilevel Inverter</i> ). . . . .	38
4.2	Bentuk luaran inverter yang diinginkan. . . . .	39
5.1	Diagram skematika rangkaian konverter penurun tegangan ( <i>Buck Converter</i> ). . . . .	46
5.2	Diagram skematika rangkaian konverter penaik tegangan ( <i>Boost Converter</i> ). . . . .	47
5.3	Diagram skematika rangkaian konverter penurun/penaik tegangan ( <i>Buck-Boost Converter</i> ). . . . .	47

# Daftar Listing Program SPICE

1.1	Program Spice Pertama, Simulasi Filter . . . . .	5
2.1	Program Spice Model Ekuivalen SCR . . . . .	20
2.2	Program Spice Rangkaian SCR sederhana . . . . .	21
2.3	Program Spice Rangkaian IGBT sederhana . . . . .	23
2.4	Program Spice Rangkaian Power MOSFET sederhana . . . . .	25



# MODUL 1

## Penuntun Penggunaan PSpice versi Cadence OrCAD

### Daftar Isi

---

1.1 Tujuan dan sasaran . . . . .	1
1.2 Memulai Program SPICE . . . . .	2

---

### 1.1 Tujuan dan sasaran

Setelah mempelajari modul ini, praktikan/mahasiswa diharapkan mahir menggunakan software CAD (*Computer-Aided Design*) PSpice yang dirilis oleh Cadence, dan memahami cara menganalisis rangkaian elektronika menggunakan program Spice. Ada beberapa fitur penting dalam software Cadence OrCAD PSpice yang sebaiknya dipahami oleh praktikan/mahasiswa sehingga dapat menjalankan praktikum dengan baik.



Pemodelan rangkaian menggunakan Spice dapat dilakukan dalam 2 mode, yaitu mode desain **Circuit Schematic** dan mode programming **Circuit Text**. Selama praktikum berlangsung, praktikan/mahasiswa akan menggunakan programming **Circuit Text**. Mode ini memiliki keunggulan dalam hal fleksibilitas dan portabilitas, dimana pengguna dapat lebih mudah mengontrol program Spice, terutama parameter sirkuit dan parameter simulasinya.

Oleh karena itu, praktikan/mahasiswa wajib memahami teknik pengkodean rangkaian dalam bentuk teks sirkuit, serta memahami instruksi-instruksi analisis rangkaian.

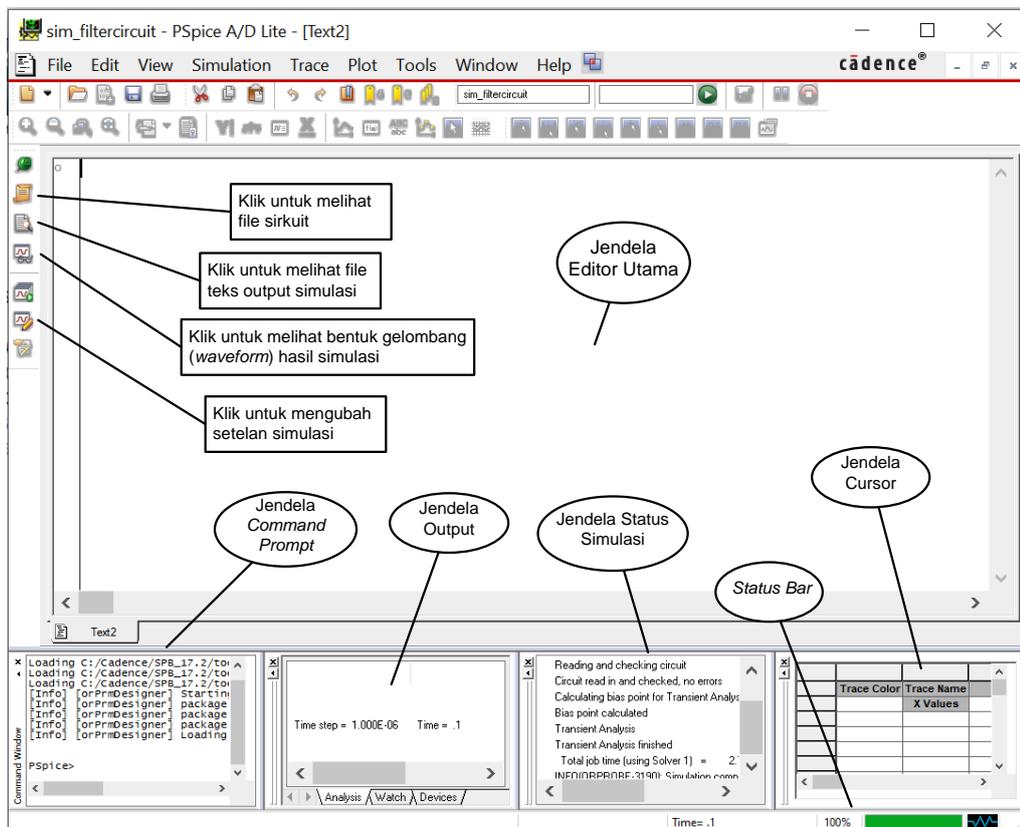
## 1.2 Memulai Program SPICE

Untuk memulai program SPICE, lakukan langkah-langkah berikut:



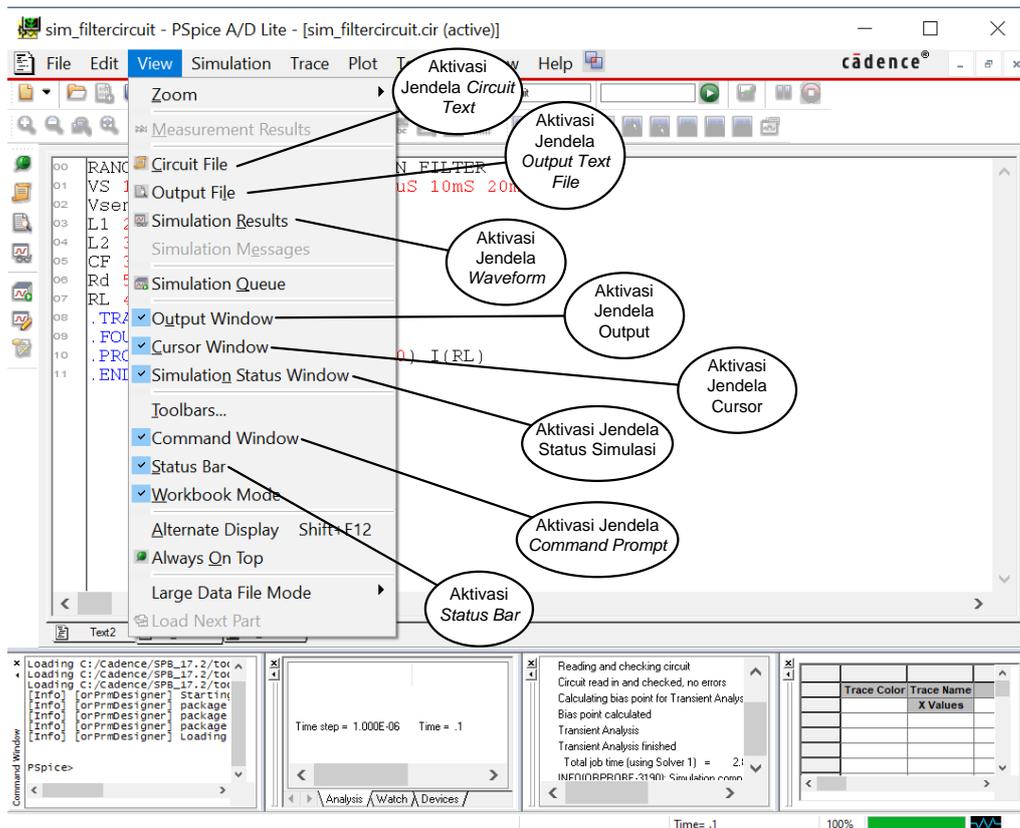
LANGKAH 1

**Langkah 1: Membuka program.** Setelah menginstalasi software aplikasi OrCAD PSpice, Anda bisa membuka aplikasi bernama PSpice AD Lite. Tampilan software aplikasi OrCAD PSpice AD Lite dapat dilihat pada **Gbr. 1.1**. Pada gambar tersebut terlihat beberapa pengarah untuk beberapa jendela penting di dalam tampilan program.



Gbr. 1.1: Jendela software aplikasi OrCAD.

- **Jendela Editor Utama.** Ada tampilan yang bisa ditunjukkan pada jendela Editor Utama, yaitu:
  1. Jendela tampilan untuk melihat dan mengedit file Text Circuit dari sebuah rangkaian simulasi.
  2. Jendela tampilan untuk melihat file Simulation Output, sesuai dengan instruksi analisis dan instruksi untuk menampilkan data-data variabel simulasi, seperti instruksi .PRINT, .FOUR, dsb.

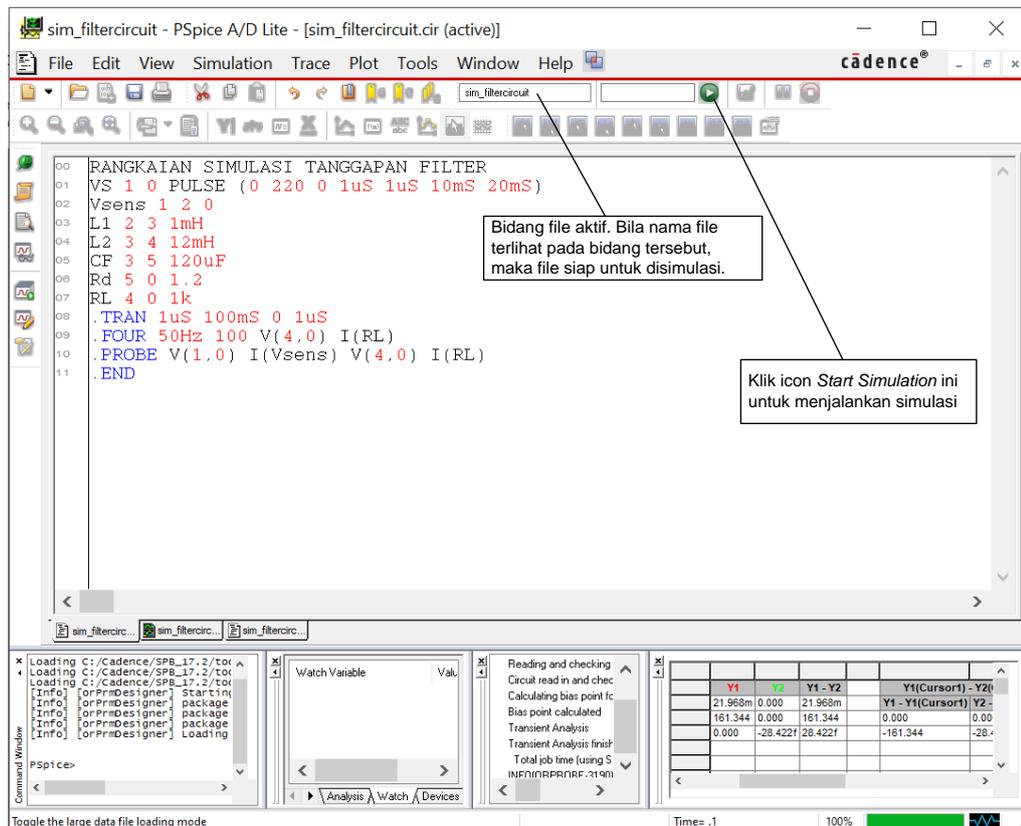


Gbr. 1.2: Aktivasi jendela-jendela pada software aplikasi OrCAD.

- Jendela tampilan untuk melihat bentuk gelombang atau Waveform dari sinyal-sinyal yang akan diukur atau diamati. Instruksi `.PROBE` diperlukan untuk menampilkan variabel-variabel simulasi pada titik-titik simpul dan jalur-jalur simpal tertentu.

Gbr. 1.1 memperlihatkan simbol icon di sisi kiri jendela aplikasi, yang dapat di-klik untuk menampilkan jendela-jendela utama tersebut di atas.

- **Jendela *Command Prompt*.** Dari jendela ini kita bisa memberi instruksi simulasi. Namun demikian, sejauh ini pengguna akan jarang memasukkan instruksi langsung dari jendela ini, kecuali pengguna memahai semua bentuk-bentuk instruksi Spice.
- **Jendela *Output*.** Dari jendela ini kita bisa melihat output simulasi. Ada 3 sub jendela tab yang dapat dilihat di sini, yaitu tab **Analysis**, **Watch** dan **Devices**. Pada tabulasi **Devices** Anda dapat melihat list jenis dan jumlah komponen yang ada dalam rangkaian yang sedang disimulasi.



Gbr. 1.3: Tampilan program di dalam jendela Circuit Text.

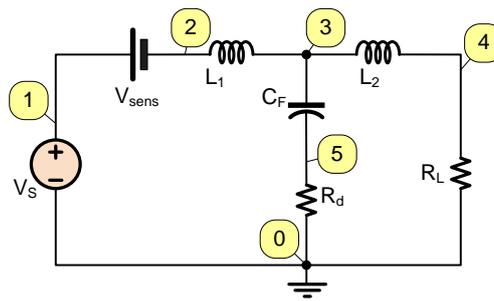
- **Jendela Status Simulasi.** Dari jendela ini kita dapat melihat status dari simulasi, termasuk kesalahan simulasi yang muncul serta penyebabnya.
- **Jendela *Cursor*.** Dari jendela ini, kita dapat melihat informasi mengenai titik-titik tertentu pada kurva gelombang sinyal dari hasil simulasi seperti nilai maksimum, nilai minimum, nilai puncak (*peak*) lokal maupun global, nilai titik belok kurva (*trough*), nilai kemiringan kurva (*slope*) serta nilai-nilai pada titik-titik tertentu pada kurva.
- **Status Bar.** Dari Status Bar kita bisa melihat persentase jalannya proses simulasi.

Anda dapat mengatur keaktifan jendela-jendela tersebut dengan mengklik salah satu item pada menu **View**, seperti terlihat pada **Gbr. 1.2**.



LANGKAH 2

**Langkah 2: Membuat file baru.** Setelah jendela utama software PSPICE AD Lite terbuka, maka Anda dapat memulai membuat file Spice dalam bentuk Circuit Text. Klik menu **File>New>Text File** atau tekan shortcut **Ctrl+N**. Anda akan mendapatkan jendela editor yang kosong tempat



Gbr. 1.4: Diagram skematika acuan untuk Circuit Text pada Listing 1.1.

dimana program Circuit Text dituliskan.

### Listing 1.1: Program Spice Pertama, Simulasi Filter

```

1 RANGKAIAN SIMULASI TANGGAPAN FILTER
2 VS 1 0 PULSE (0 220 0 1uS 1uS 10mS 20mS)
3 Vsens 1 2 0 ; berfungsi sebagai sensor arus
4 L1 2 3 1mH
5 L2 3 4 12mH
6 CF 3 5 120uF
7 Rd 5 0 1.2
8 RL 4 0 1k
9 * Instruksi analisis
10 .TRAN 1uS 100mS 0 1uS
11 .FOUR 50Hz 100 V(4,0) I(RL)
12 .PROBE V(1,0) I(Vsens) V(4,0) I(RL)
13 .END

```

Sebagai program pertama, sesuai dengan diagram skematika rangkaian yang ditunjukkan pada **Gbr. 1.4**, tuliskanlah program pada **Listing 1.1** ke dalam editor tadi, sehingga program tersebut terlihat seperti pada **Gbr. 1.3**. Penjelasan setiap baris program adalah sebagai berikut:

- **Baris 1:** merupakan nama/judul rangkaian yang dapat secara bebas dideskripsikan oleh pengguna. Catat bahwa baris judul pada baris pertama ini harus dibuat.

- **Baris 2:** memperlihatkan deklarasi `VS 1 0` yang menunjukkan sumber tegangan  $VS$  pada titik node (1,0). Sumber tegangan berupa pulsa yang dituliskan dalam bentuk `PULSE (0 220 0 1uS 1uS 10mS 20mS)` dengan bentuk umum `PULSE (Vmin Vmax Td Tr Tf Duty Period)`, sehingga masing-masing urutan parameter dijelaskan sbb:

$V_{min}$ : Nilai terendah dari pulsa (0 V);

$V_{max}$ : Nilai tertinggi dari pulsa (220 V);

$T_d$ : Waktu tunda pulsa (0 detik);

$T_r$ : Waktu bangkit pulsa dari nilai terendah ke tertinggi (1  $\mu$ Detik);

$T_f$ : Waktu jatuh pulsa dari nilai tertinggi ke terendah (1  $\mu$ Detik);



*TDuty*: Lebar waktu *Duty* pulsa, yaitu lebar waktu dimana pulsa bernilai tertinggi (10 mDetik);

*Period*: Lebar perioda waktu pulsa (20 mDetik);

- **Baris 3:** memperlihatkan deklarasi *Vsens 1 0* yang menunjukkan sumber tegangan *Vsens* pada titik node (1,2) dengan tegangan sebesar 0 Volt. Sumber tegangan 0 volt ini berfungsi untuk mengukur arus atau sebagai sensor arus. Teks setelah tanda semikolon “;” tidak akan diinterpretasi oleh Spice (dapat digunakan untuk memberi kalimat komentar).

- **Baris 4:** menunjukkan induktor  $L_1$  pada titik node (2,3), dengan nilai induktansi sebesar 1 mH.

- **Baris 5:** menunjukkan induktor  $L_2$  pada titik node (3,4), dengan nilai induktansi sebesar 12 mH.

- **Baris 6:** menunjukkan kapasitor  $C_F$  pada titik node (3,5), dengan nilai kapasitansi sebesar 120  $\mu\text{F}$ .

- **Baris 7:** menunjukkan resistor  $R_d$  pada titik node (5,0), dengan nilai resistansi sebesar 1,2  $\Omega$ .

- **Baris 8:** menunjukkan resistor  $R_L$  pada titik node (4,0), dengan nilai resistansi sebesar 1 k $\Omega$ .

- **Baris 9:** Teks setelah tanda “\*” tidak akan diinterpretasi oleh Spice (dapat digunakan untuk memberi kalimat komentar)

- **Baris 10:** menunjukkan instruksi `.TRAN` untuk analisis tanggapan waktu dengan parameter-parameter sbb: waktu step 1  $\mu\text{S}$  maksimum waktu simulasi 100 mS, waktu awal simulasi 0 S, dan batas atas waktu step 1  $\mu\text{S}$ .

- **Baris 11:** menunjukkan instruksi `.FOUR` untuk analisis Fourier atau analisis spektrum harmonisa, dengan parameter-parameter sbb: frekuensi dasar 50 Hz, jumlah harmonisa 100 titik, variabel yang diukur, dalam hal ini  $V(1,0)$  dan  $I(RL)$ .

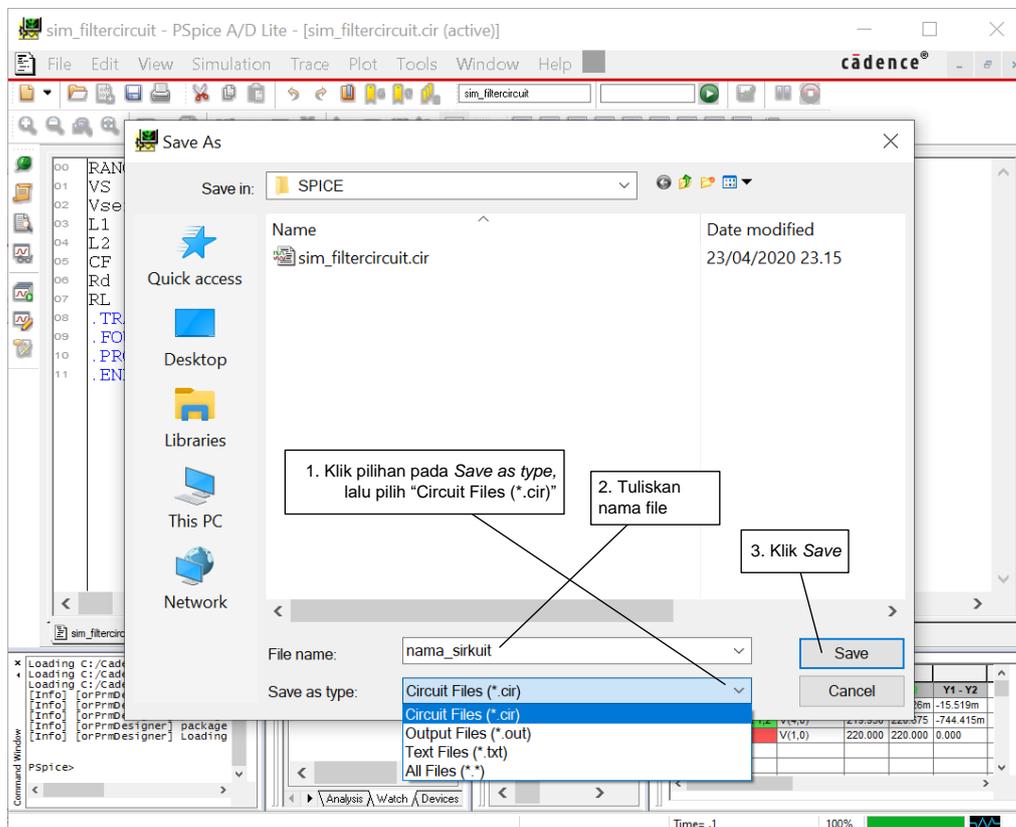
- **Baris 12:** menunjukkan instruksi `.PROBE` untuk menampilkan variabel-variabel terukur pada Jendela `Waveform`, yang diikuti oleh ekspresi variabel-variabel terukur. Ekspresi tegangan pada instruksi `.PROBE` biasanya ditulis dengan huruf awal “V” diikuti oleh angka/symbol node positif dan negatif dipisahkan oleh tanda koma (“,”), yang dituliskan di dalam tanda kurung, misalnya  $V(4,0)$ , yang berarti tegangan terukur pada titik node 4,0. Ekspresi arus dituliskan dengan huruf awal “I” dan diikuti oleh elemen dimana arus dilewati, yang dituliskan di dalam tanda kurung, misal  $I(RL)$ , yang berarti arus yang mengalir pada elemen RL

- **Baris 13:** menunjukkan instruksi `.END` menandakan akhir baris dari program Spice.

**Langkah 3: Menyimpan file.** Setelah Anda mengetikkan file Circuit Text ke dalam editor, maka selanjutnya simpanlah file tersebut ke dalam format file `.cir`. Langkah-langkahnya dapat dilihat pada **Gbr. 1.5**. Pertama, klik menu `File>Save` untuk pertama kali menyimpan file atau menu `File>Save As` bila file telah disimpan sebelumnya. Setelah itu akan muncul jendela **LANGKAH 3** `Save AS` untuk menyimpan file.



Pada jendela `Save AS` tersebut, pertama yang Anda lakukan adalah meng-klik pilihan pada `Save as type`, lalu pilih `Circuit Files (*.cir)`. Kedua, tuliskan nama file (upayakan tanpa spasi) pada bidang isian **File name**. Setelah itu, klik tombol `Save`, dan file Anda akan tersimpan dalam format file `circuit text (*.cir)`. Perlu dicatat bahwa file teks sirkuit dalam program Spice disimpan dengan ekstensi `.cir`.



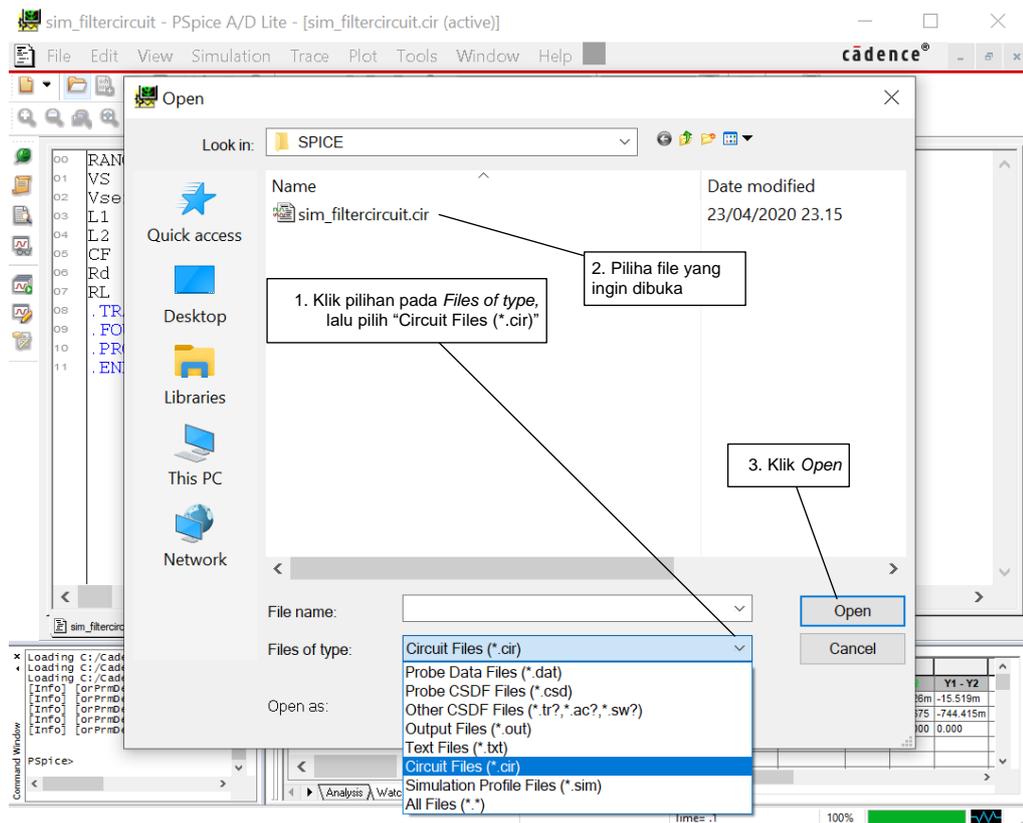
**Gbr. 1.5:** Langkah untuk menyimpan file Circuit Text.



LANGKAH 4

**Langkah 4: Membuka file dan mensimulasikannya.** Setelah file baru tersimpan, maka file tersebut tidak serta merta akan dapat disimulasi, kecuali nama file tersebut telah tampil pada bidang file aktif.

Perhatikan kembali **Gbr. 1.3**. Pada gambar tersebut terlihat nama file yang tertulis pada bidang file aktif. Bila nama file tersebut belum muncul, maka Anda perlu membuka file teks sirkuit tersebut. Klik menu **File>Open**. Maka jendela untuk membuka file akan terlihat seperti pada **Gbr. 1.6**. Pertama, klik pilihan pada **Files of type**, lalu pilih **Circuit Files (\*.cir)**. Kedua, pilihlah dengan meng-klik file yang ingin Anda buka hingga nama file yang dipilih akan muncul pada bidang **File name**. Setelah itu, klik tombol **Open**, sehingga file circuit text, **.cir** tersebut akan muncul pada jendela editor, dan nama file yang dibuka tadi akan muncul pada bidang file aktif. Kliklah simbol icon simulasi untuk menjalankan simulasi.



Gbr. 1.6: Langkah untuk membuka file Circuit Text.

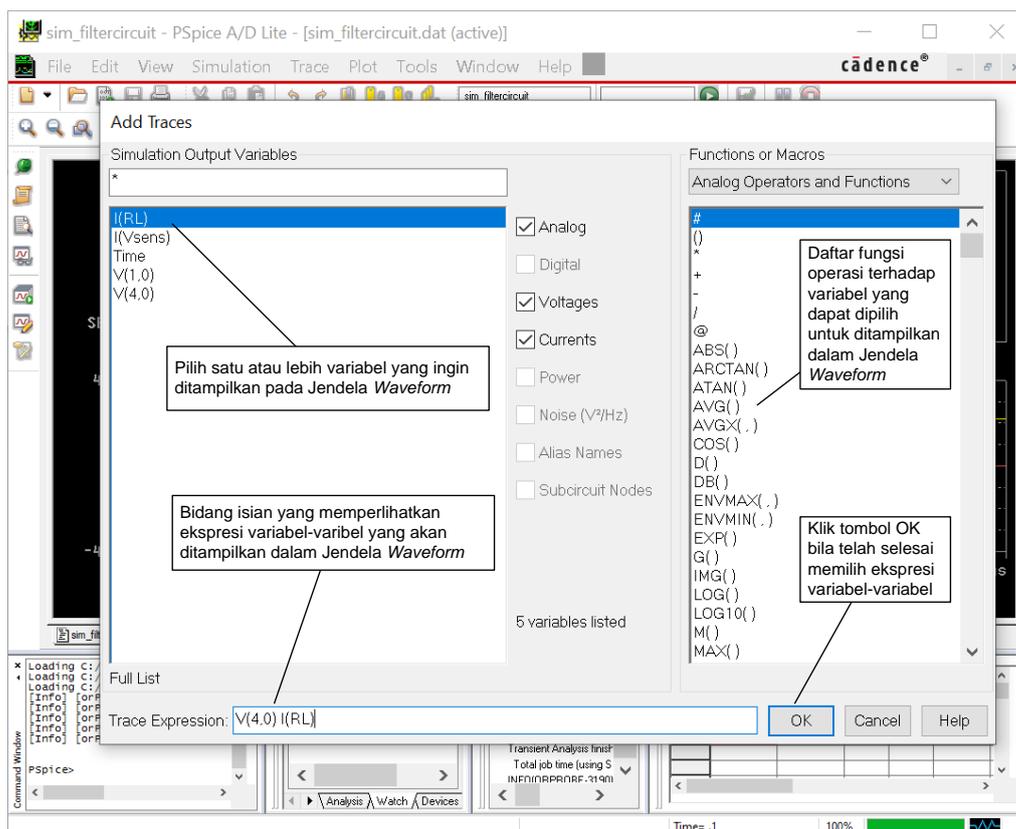
**Langkah 5: Membuka Jendela *Waveform* dan Menambahkan Kurva Simulasi.** Setelah menjalankan simulasi, terutama untuk pertama kali menjalankan simulasi, maka biasanya jendela *Waveform* akan kosong. Oleh karena itu, kita perlu menambahkan kurva atau menambahkan *trace* pada jendela tersebut. Langkah-langkahnya dapat dilihat pada **Gbr. 1.7**.



LANGKAH 5

Pada jendela *Add Traces* tersebut Anda dapat menambahkan ekspresi variabel terukur dengan cara meng-klik salah satu atau dua variabel berurutan di dalam jendela *Simulation Output Variables*, sehingga variabel-variabel tersebut muncul pada bidang isian *Trace Expression*. Pada gambar terlihat, bahwa 2 variabel yaitu  $V(4,0)$  dan  $I(RL)$  telah dipilih.

Pada sisi kanan dalam **Gbr. 1.7** terdapat pula jendela *Function or Macros*, yang menunjukkan beberapa fungsi dan macro yang dapat digunakan untuk mengoperasikan variabel dengan fungsi-fungsi tersebut. Sebagai contoh Anda dapat meng-klik fungsi  $AVG()$  kemudian meng-klik variabel  $V(4,0)$  sehingga pada bidang *Trace Expression* akan tertulis  $AVG(V(4,0))$ , yang mana fungsi tersebut akan menampilkan tegangan rata-rata variabel  $V(4,0)$  ke dalam jendela *Waveform*.



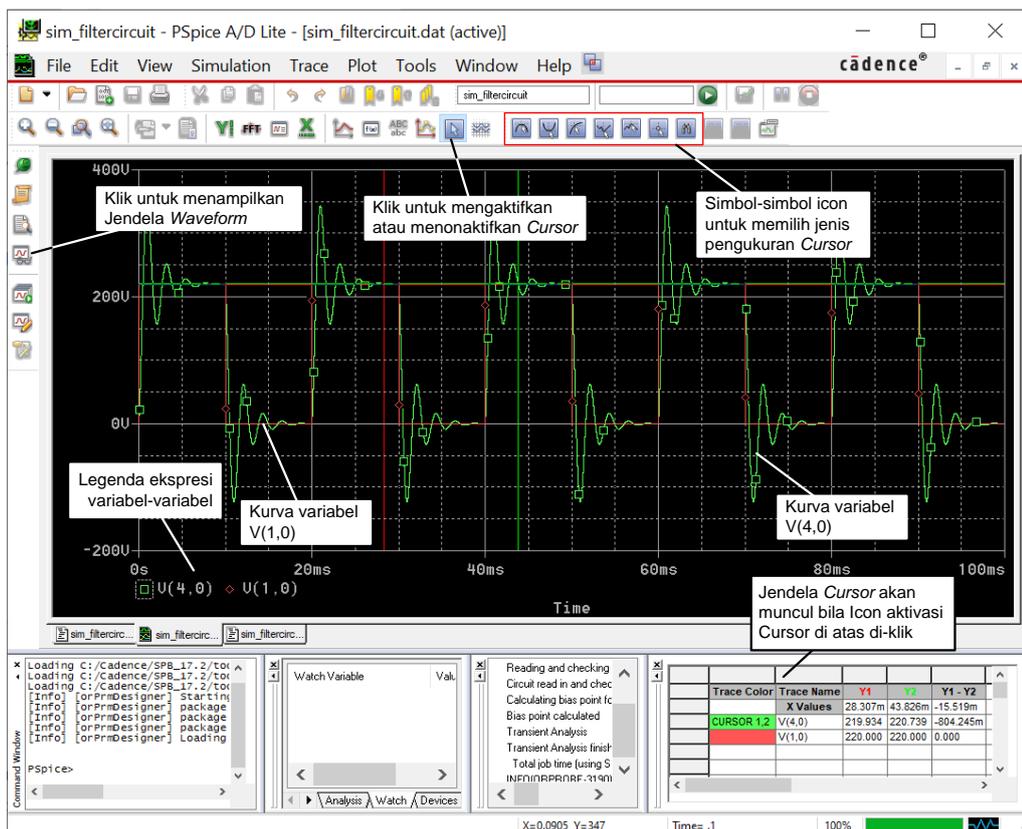
**Gbr. 1.7:** Jendela untuk menambahkan trace kurva variabel atau ekspresi variabel ke dalam Jendela *Waveform*.



LANGKAH 6

**Langkah 6: Mengamati *Cursor* dari setiap kurva.** Setelah Anda menambahkan *trace* kurva ke dalam Jendela *Waveform*, maka Anda akan mendapatkan hasil seperti terlihat pada **Gbr. 1.8**. Jendela *Waveform* dapat aktifkan dengan cara meng-klik simbol icon *View Simulation Results* di sisi kanan Jendela Utama. Pada sisi kiri-bawah jendela, terdapat legenda simbol dan warna kurva ekspresi variabel luaran yang diukur. Kurva dari variabel-variabel terukur terlihat dalam jendela *Waveform* sesuai dengan warna dan simbol pada legenda tersebut.

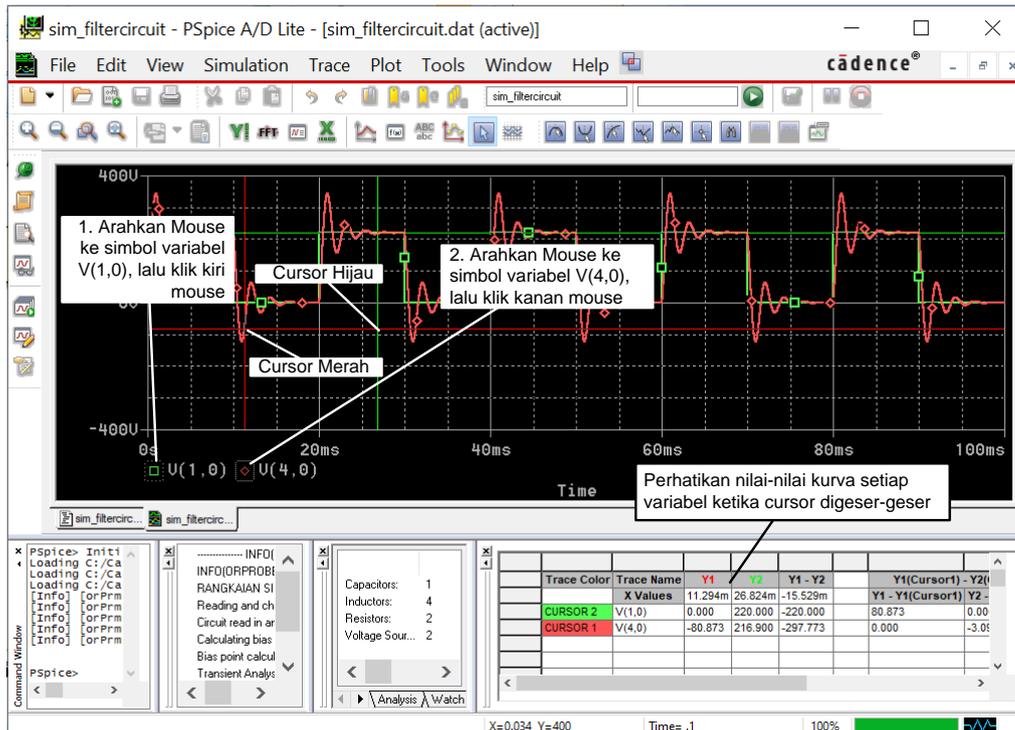
*Cursor* merupakan penunjuk nilai pada titik-titik tertentu pada kurva. Untuk mengaktifkan dan menonaktifkan *Cursor*, Anda dapat meng-klik simbol pointer seperti terlihat dalam **Gbr. 1.8**. Setelah di-klik, jendela *Cursor* pada sisi kanan-bawah serta merta akan terbuka. Ada 2 kursor yang bisa aktif, yaitu *Cursor* Merah dengan cara meng-klik-kiri Mouse lalu ditahan dan digeser-geser, dan *Cursor* Hijau dengan cara meng-klik-kanan Mouse lalu ditahan dan digeser-geser.



**Gbr. 1.8: Jendela *Waveform* dan pengamatan *Cursor* setiap kurva.**

Untuk lebih jelasnya perhatikan **Gbr. 1.9**. Arahkan mouse ke simbol variabel  $V(1,0)$  pada legenda kurva (kiri-bawah), lalu klik-kiri. Arahkan mouse ke Jendela *Waveform*. Klik kiri, tahan dan geser-geser mouse. Per-

hatikan nilai-nilai kurva pada jendela *Cursor* di sisi kanan-bawah gambar. Setelah itu, arahkan mouse ke simbol variabel  $V(4,0)$  pada legenda kurva (kiri-bawah), lalu klik-kanan. Arahkan mouse ke Jendela *Waveform*. Klik kanan, tahan dan geser-geser mouse. Perhatikan nilai-nilai kurva pada jendela *Cursor* di sisi kanan-bawah gambar. Jendela *Cursor* juga memperlihatkan selisih antara *Cursor Merah* untuk kurva variabel  $V(1,0)$  dan *Cursor Hijau* untuk kurva variabel  $V(4,0)$ .



Gbr. 1.9: Cara menggunakan *Cursor* pada Jendela *Waveform*.

Simbol-simbol icon untuk memilih jenis pengukuran pada kurva juga terlihat dalam gambar tersebut. Dengan memilih salah satu jenis pengukuran tersebut, kita dapat melihat informasi mengenai titik-titik tertentu pada kurva gelombang sinyal dari hasil simulasi seperti nilai maksimum (*Cursor Max*), nilai minimum (*Cursor Min*), nilai puncak (*Cursor Peak*) lokal maupun global, nilai titik belok kurva (*Cursor Trough*), nilai kemiringan kurva (*Cursor Slope*) serta nilai-nilai pada titik-titik tertentu pada kurva. Bila kurva memiliki banyak titik puncak lokal/global dan banyak kemiringan, maka meng-klik-klik ulang simbol *Cursor Peak*, *Cursor Trough* atau *Cursor Slope* akan memindahkan ke titik-titik pengukuran yang dimaksud.

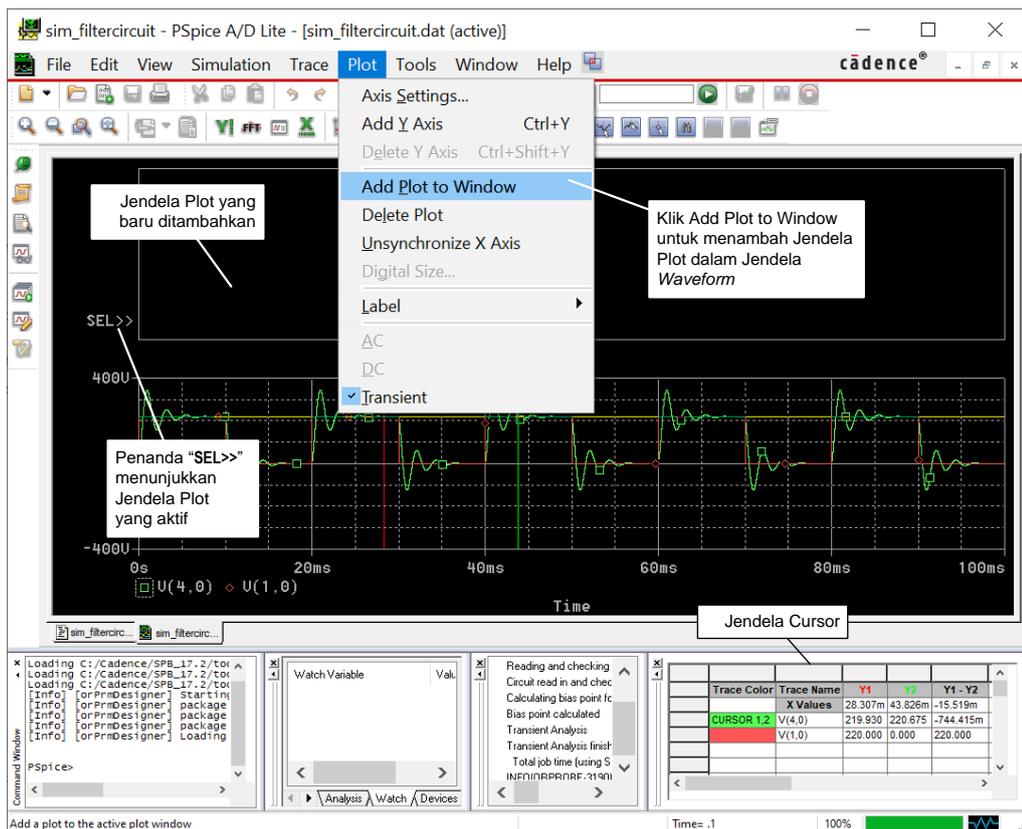


LANGKAH 7

**Langkah 7: Menambah Jendela Plot di dalam Jendela *Waveform*.**

Setelah menambahkan *trace* kurva ke dalam *Waveform*, Anda juga bisa menambahkan jendela Plot baru ke dalam jendela *Waveform*. Langkah-langkah adalah sebagai berikut. Klik Menu *Plot>Add Plot to Window* seperti terlihat pada **Gbr. 1.10**. Setelah meng-klik menu tersebut, maka sebuah Jendela Plot yang baru akan ditampilkan ke dalam jendela *Waveform* yang sama namun dengan sumbu terpisah.

Seperti terlihat di dalam gambar, pada jendela *Waveform* akan terlihat sebuah penanda teks tertulis *SEL>>* yang menunjukkan Jendela Plot yang aktif. Bila Anda melakukan penambahan *trace* kurva yang baru, maka kurva tersebut akan ditampilkan pada jendela plot yang aktif, atau yang memiliki penanda *SEL>>*. Untuk menambahkan *trace* kurva ke dalam jendela tersebut, selain menggunakan metode klik seperti dijelaskan sebelumnya, Anda dapat pula mengetik secara manual instruksi seperti *AVG(V(4,0))*, *V(4,0)*, *I(RL)* dan/atau variabel/fungsi lain ke dalam bidang *Trace Expression*.



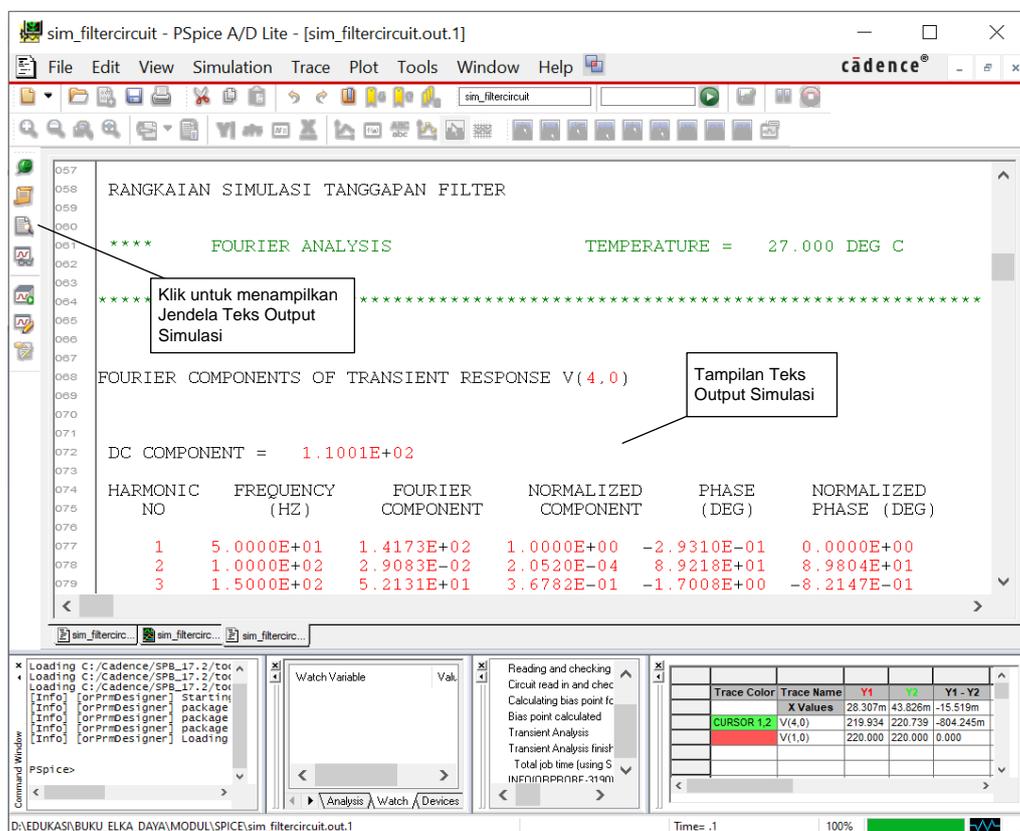
**Gbr. 1.10: Jendela untuk menambahkan jendela plot ke dalam Jendela *Waveform*.**

**Langkah 8: Membuka Jendela Teks Output Simulasi.** Selain Jendela Waveform Spice juga dapat menghasilkan luaran hasil simulasi yang disimpan dalam bentuk teks. Instruksi-instruksi yang digunakan untuk menampilkan luaran dalam bentuk teks seperti .PRINT, .FOUR, .TEMP, dsb. **Gbr. 1.11.** Sesuai dengan instruksi .FOUR 50Hz 100 V(4,0) I(RL) yang tertera pada Baris ke-11 dari **Listing 1.1**, maka hasil simulasi spektrum harmonisa ditunjukkan pada Jendela Teks Hasil Simulasi tersebut.



LANGKAH 8

Jendela Teks Output Simulasi dapat diaktifkan atau ditampilkan dengan cara meng-klik icon simbol View Simulation Output File yang terdapat pada sisi kiri Jendela Editor Utama.



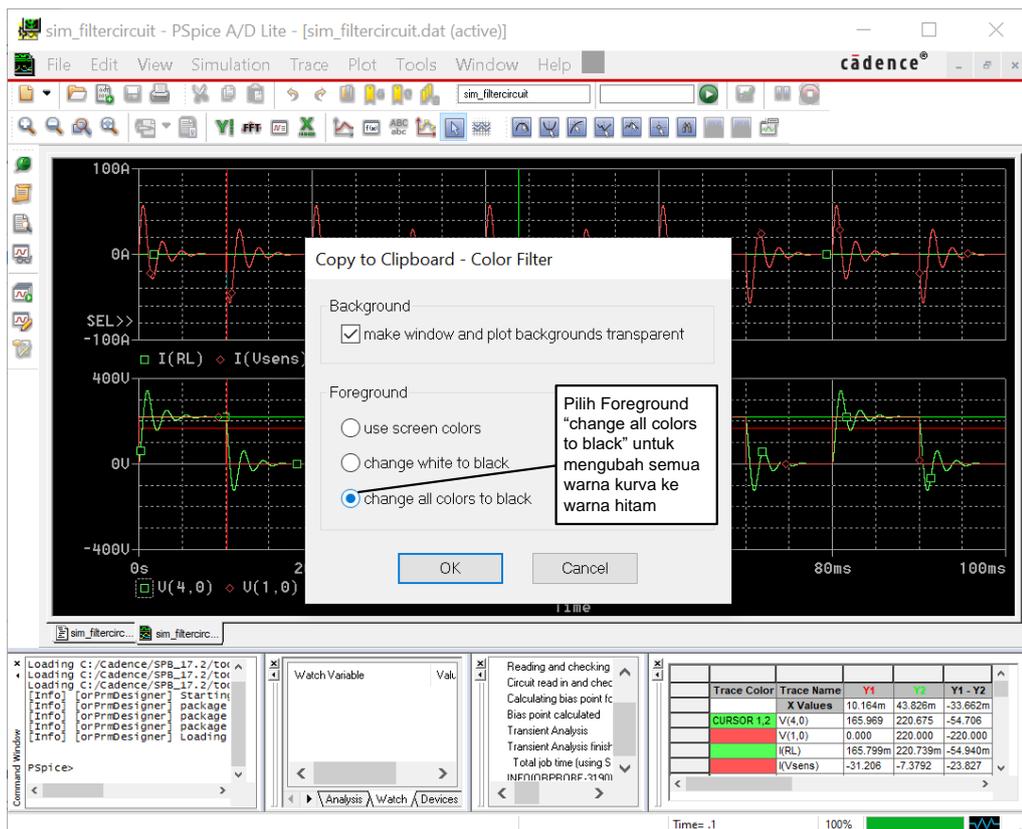
**Gbr. 1.11:** Jendela tampilan teks output simulasi.



LANGKAH 9

**Langkah 9: Mengekspor Jendela *Waveform* ke *Clipboard*.** Diagram kurva pada Jendela *Waveform* dapat diekspor menjadi file gambar yang akan di-copy ke *Clipboard* komputer Anda, sehingga dapat disisipkan (*paste*) ke dalam aplikasi *word processor* seperti Microsoft Word. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut.

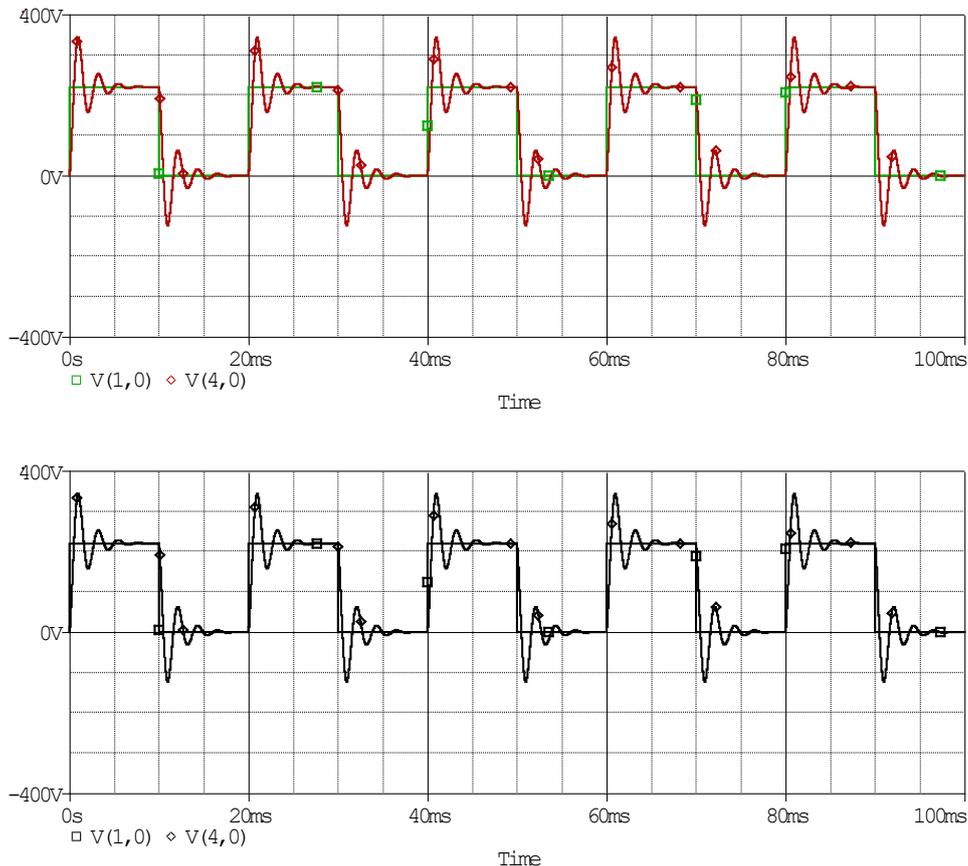
Klik Menu *Window*>*Copy to Clipboard*. Setelah itu, Anda akan melihat jendela *Copy to Clipboard - Color Filter* seperti terlihat pada **Gbr. 1.12**. Pada bagian *Background* pastikan pilihan tunggal *make window and plot backgrounds transparent* tercentang, agar menghasilkan gambar dengan latar belakang transparan. Ada tiga pilihan *Foreground*, yaitu pilihan *use screen colors* untuk menghasilkan gambar yang persis sama dengan gambar di layar, pilihan *change white to black* untuk mengubah garis latar putih/abu-abu menjadi hitam dengan kurva tetap berwarna, dan pilihan *change all colors to black* untuk semua warna kurva menjadi warna hitam. Dua pilihan terakhir adalah yang terbaik untuk menyisipkan gambar ke aplikasi *Word Processor*.



**Gbr. 1.12:** Jendela untuk men-copy Jendela *Waveform* ke *Clipboard*.

Setelah meng-klik tombol *OK*, maka Anda membuka aplikasi *word processor* dan mem-*paste* atau mem-*paste special* gambar dengan pilihan gam-

bar bitmap atau metafile pada posisi *cursor* yang diinginkan. **Gbr. 1.13** memperlihatkan 2 buah hasil gambar yang telah disisipkan ke aplikasi word/graphic processor dengan menggunakan 2 pilihan tadi yaitu masing-masing dengan pilihan *change white to black* dan pilihan *change all colors to black*.



**Gbr. 1.13:** Bentuk gambar yang telah disisipkan dengan 2 opsi.

Sebelum meng-*copy-paste* gambar, Anda dapat pula lebih dahulu mengedit kurva seperti mengubah warna, pola, ketebalan dan simbol garis kurva. Untuk melakukan hal tersebut, Anda cukup meng-klik salah satu kurva di dalam Jendela *Waveform* kemudian, meng-klik-kanan Mouse Anda, sehingga muncul jendela dengan beberapa menu. Dari jendela tadi pilih Menu *Trace Property*, sehingga muncul jendela untuk mengubah warna, pola, ketebalan dan simbol garis kurva tadi. Kemudian klik tombol OK untuk melihat hasilnya.



# MODUL 2

## Piranti dan Komponen Elektronika Daya

### Daftar Isi

<b>2.1</b>	<b>Tujuan dan sasaran</b>	<b>17</b>
<b>2.2</b>	<b>Landasan Pemahaman</b>	<b>18</b>
<b>2.3</b>	<b>Soal-soal Teori Dasar</b>	<b>19</b>
<b>2.4</b>	<b>Persiapan Alat dan Bahan</b>	<b>20</b>
<b>2.5</b>	<b>Pelaksanaan</b>	<b>20</b>
2.5.1	Model SPICE Rangkaian SCR	20
2.5.2	Model SPICE Rangkaian IGBT	22
2.5.3	Model SPICE Rangkaian Power MOSFET	24
2.5.4	Hasil Simulasi dan Analisis	25
2.5.5	Perancangan dan Pengujian Alat	26
<b>2.6</b>	<b>Rangkuman</b>	<b>26</b>

### 2.1 Tujuan dan sasaran

Tujuan dan sasaran yang ingin dicapai setelah melaksanakan praktikum pada modul ini antara lain adalah:

1. Praktikan/mahasiswa mampu mengenal dan memahami fungsi dari piranti-piranti dan komponen-komponen penting yang digunakan dalam rangkaian elektronika daya.
2. Praktikan/mahasiswa mampu menjelaskan prinsip kerja dari piranti-piranti yang digunakan dalam rangkaian elektronika daya, serta memodelkannya dalam program Spice.



## 2.2 Landasan Pemahaman



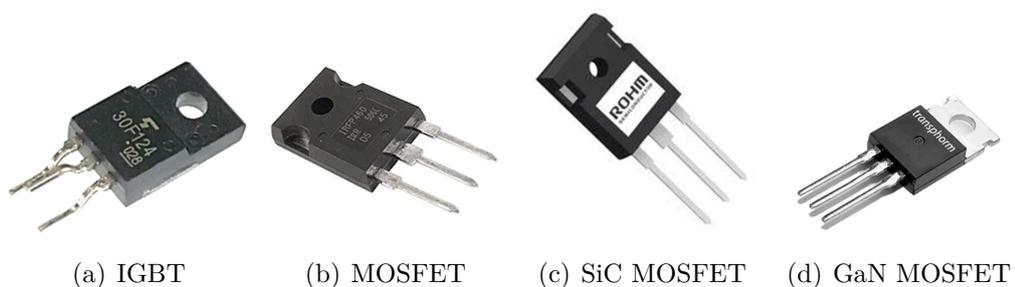
Sebelum memulai praktikum, praktikan/mahasiswa perlu memiliki landasan pemahaman yang baik atau teori-toeri dasar terkait dengan topik yang akan dipraktikkan. Mahasiswa juga dituntut untuk aktif menggali informasi atau pengetahuan mengenai topik praktikum terkait, sehingga mampu menjawab pertanyaan-pertanyaan mendasar yang diberikan pada sub-bab selanjutnya.

Ada banyak macam piranti dan komponen elektronika daya yang penting untuk dipelajari. Secara umum, komponen-komponen elektronika daya dibagi atas komponen pasif dan komponen aktif. Untuk komponen aktif seperti resistor, induktor dan kapasitor, kita tidak akan banyak membahas di sini, tetapi untuk aplikasi elektronika daya komponen-komponen tersebut harus memiliki rating tegangan di atas 300V. Pada dasarnya, tidak ada konvensi yang mengatur batasan tetap atas tegangan operasi setiap piranti elektronika daya, tapi kita bisa mengambil contoh rating operasi sebuah dioda daya (*power diode*) seperti terlihat pada **Tabel 2.1**.

**Tabel 2.1: Contoh rating operasi dari sebuah piranti dioda daya.**

Voltage Rating	: upto 4000 V
Current Rating	: upto 3500 A
Upper Frequency	: 1 kHz
ON State Voltage Drop	: hampir 1 V

Untuk komponen aktif, dapat dibagi menjadi 2 bagian yaitu komponen untuk sirkuit konverter daya dan komponen untuk untuk sirkuit kendali. Komponen untuk sirkuit konverter yang cukup banyak digunakan dalam aplikasi adalah Power MOSFET, Power BJT, IGBT, Thyristor SCR, Thyristor GTO, TRIAC, dan Power Diode. Contoh-contoh fotografi komponen saklar elektronik berupa transistor yang banyak digunakan dalam rangkaian elektronika daya dapat dilihat pada **Gbr. 2.1**.



**Gbr. 2.1: Fotografi piranti elektronika daya.**

Sedangkan komponen untuk sirkuit kendali dapat dibagi menjadi unit chipset kontroler elektronik, chipset driver, optocoupler, dan regulator tegangan.

gan. Komponen sirkuit kendali ini pada dasarnya bukan merupakan elemen utama rangkaian elektronika daya. Namun demikian, tanpa kehadiran elemen-elemen tersebut, implementasi rangkaian elektronika daya mustahil direalisasikan.

## 2.3 Soal-soal Teori Dasar

Sebelum memulai praktikum, praktikan/mahasiswa perlu memahami dan menjelaskan teori-teori dasar terkait praktikum yang akan dijalakankan. Di bawah ini adalah pertanyaan-pertanyaan yang wajib dijawab oleh mahasiswa sebelum memulai praktikum. Jawablah pertanyaan-pertanyaan tersebut pada Lembar Kerja yang disediakan.



1. Jelaskan perbedaan dan kesamaan antara Dioda dan Thyristor! Kemudian gambarkan simbol Dioda dan Thyristor serta tunjukkan nama-nama terminalnya!
2. Apakah kepanjangan dari SCR dan GTO serta apa perbedaan mendasar antara SCR, GTO dan TRIAC? Gambarkanlah simbol dari SCR, GTO dan TRIAC serta tunjukkan nama-nama terminalnya!
3. Apakah kepanjangan dari IGBT dan apa perbedaan antara Power BJT, IGBT Power MOSFET? Lalu gambarkanlah simbol Power BJT, IGBT dan Power MOSFET serta tunjukkan nama-nama terminalnya!
4. Apakah kepanjangan dari SiC FET dan GaN FET? Jelaskan kelebihan-nya dibandingkan dengan Power MOSFET berbasis silikon biasa!
5. Sebutkan 4 jenis rangkaian elektronika daya ditinjau dari segi bentuk konversi daya masukan dan luarannya!
6. Sebutkan komponen-komponen yang diperlukan untuk mendesain sebuah rangkaian elektronika daya yang lengkap! Anda dapat membuat diagram blok untuk menjelaskan jawaban Anda.
7. Cobalah telusuri dari sumber internet misalnya: [www.mouser.com](http://www.mouser.com), [www.element14.com](http://www.element14.com), [www.digikey.com](http://www.digikey.com) atau dari situs web vendor langsung komponen, untuk mencari komponen-komponen yang ditanyakan beserta dokumen datasheetnya pada tabel di dalam lembar kerja yang disediakan. Lengkapilah isian tabel yang ditanyakan di dalam lembar kerja tersebut.

## 2.4 Persiapan Alat dan Bahan



Sebelum memulai praktikum, praktikan/mahasiswa perlu mempersiapkan beberapa peralatan ukur dan bahan-bahan praktikum. Alat dan bahan yang perlu disiapkan adalah sebagai berikut:

1. Komputer dekstop/laptop dengan program SPICE yang sudah terinstall di dalamnya.
2. Mikrokontroler kit yang berfungsi untuk membangkitkan sinyal pulsa.
3. Osiloskop analog/digital untuk mengukur sinyal-sinyal analog dan digital.
4. Perangkat Suplai Daya Listrik (*Power Supply*).
5. Komponen-komponen resistor, kapasitor, mikrokontroler, optocoupler TLP250, MOSFET IRFP460, MOSFER Driver IR2110, SCR TYN812, dsb.

## 2.5 Pelaksanaan



Setelah mempersiapkan alat-alat dan bahan-bahan praktikum, selanjutnya praktikan/mahasiswa akan melaksanakan tahapan praktikum yang akan diuraikan pada sub-sub bagian berikut ini. Ada 3 jenis piranti yang akan diuji yaitu Thyristor SCR, Power MOSFET dan IGBT.

### 2.5.1 Model SPICE Rangkaian SCR

Pada bagian ini praktikan/mahasiswa akan menuliskan program SPICE untuk rangkaian elektronika daya sederhana menggunakan Thyristor SCR. Thyristor SCR tidak terdapat dalam model Spice standard. Model ekivalen SCR (model skematika dan Spice) dapat dilihat dalam buku [Muhammad Rasyid, 2006], “SPICE for Power Electronics and Electric Power, 2nd edition”. Model ekivalen Spice SCR ditulis kembali seperti terlihat pada **Listing 2.1**.



Rangkaian  
Ekivalen SCR

**Listing 2.1: Program Spice Model Ekivalen SCR**

```

1 *Subcircuit for AC thyristor model
2 .SUBCKT SCRMOD 1 3 2
3 * model name anode(1) +control gate(3) cathode(2)
4 S1 1 5 6 2 SMOD ; Switch
5 RG 3 4 50
6 VX 4 2 DC 0V
7 VY 5 7 DC 0V
8 DT 7 2 DMOD ; Switch diode
    
```

```

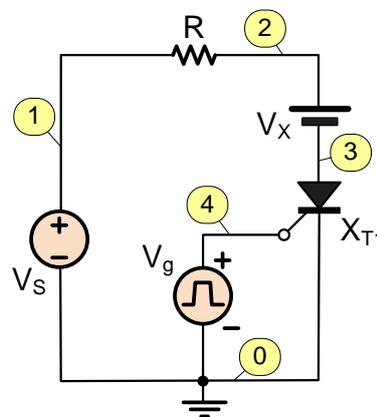
9 RT 2 6 1
10 CT 6 2 10uF
11 F1 2 6 POLY(2) VX VY 0 50 11
12 .MODEL SMOD VSWITCH (RON=0.0105 ROFF=10E+5 VON=0.1V VOFF=0V)
13 .MODEL DMOD D(IS=2.2E-15 BV=1200V TT=0 CJO=0) ; Diode model
14 .ENDS SCRMOD

```

Setelah menuliskan program Spice untuk model ekivalen SCR, maka model tersebut dapat digunakan dalam program Spice rangkaian SCR sederhana seperti ditunjukkan pada **Listing 2.2**. Penjelasan baris-baris program adalah sebagai berikut: Adapun gambar acuan dari teks sirkuit Spice tersebut diperlihatkan pada **Gbr. 2.2**.



Rangkaian SCR Sederhana



**Gbr. 2.2:** Diagram skematika acuan untuk Circuit Text pada Listing 2.2.

**Listing 2.2:** Program Spice Rangkaian SCR sederhana

```

1 Rangkaian Thyristor SCR sederhana
2 .PARAM Ampl = 220V
3 .PARAM Freq = 50Hz
4 .PARAM DelayAngle = 100
5 .PARAM PulseWidth = 500us
6 VS 1 0 SIN (0 {Ampl} {Freq})
7 Vg 4 0 PULSE (0 15 {{DelayAngle}}/{360*{Freq}}) 1ns 1ns
8 + {PulseWidth} {1/{Freq}})
9 R 1 2 2.5
10 VX 2 3 DC 0V ; Sumber tegangan 0 sebagai sensor arus
11 .INC SCRmodel.cir ; menyertakan model thyrstitor SCR
12 XT1 3 4 0 SCRMOD ; Thyristor T1
13 *.STEP PARAM DelayAngle List 30 60 90
14 .TRAN 0.5US 100MS 0 0.5uS
15 .PROBE V(1,0) V(3,0) V(4,0) I(VX) I(R)
16 .END

```

• **Baris 1:** menunjukkan nama/judul rangkaian. Seperti biasa baris judul ini harus ada di dalam file teks sirkuit.

- **Baris 2–5:** menunjukkan parameter-parameter simulasi yang akan digunakan dalam elemen-elemen program rangkaian.
- **Baris 6:** menunjukkan sumber tegangan berupa sinyal sinusoidal dengan nilai amplitudo dan frekuensi yang ditetapkan seperti pada parameter-parameter pada baris 2 dan 3.
- **Baris 7, 8:** merupakan sumber tegangan berupa pulsa dengan parameter-parameter penting untuk mengaktifkan SCR, yaitu parameter waktu tunda pulsa *DelayAngle*. Waktu tunda pulsa dirumuskan ke dalam sintaks *PULSE* seperti terlihat pada baris program tersebut yaitu  $\frac{DelayAngle}{360 * Freq}$ , lebar pulsa aktif diset sebagai *PulseWidth* dan perioda pulsa dirumuskan sebagai  $\frac{1}{Freq}$ . Pada baris ke-8 tanda “+” menunjukkan kelanjutan baris program sebelumnya.
- **Baris 11:** merupakan sintaks untuk menyertakan file sirkuit teks yang lain. Listing program untuk file *SCRmodel.cir* diperlihatkan pada **Listing 2.1**.
- **Baris 12:** memperlihatkan penyertaan subsirkuit *SCRMOD* yang selalu diawali dengan huruf “X”. Perhatikan baik-baik urutan nomor simpul pada baris tersebut dengan urutan nomor pada baris ke-2 di dalam **Listing 2.1**. Urutan tersebut menunjukkan hubungan satu-satu setiap nomor simpul pada subsirkuit sesuai dengan urutannya.

Tahapan pelaksanaan praktikum untuk rangkaian SCR sederhana ini adalah sebagai berikut:



Tahapan Pelaksanaan (Simulasi Rangkaian SCR)

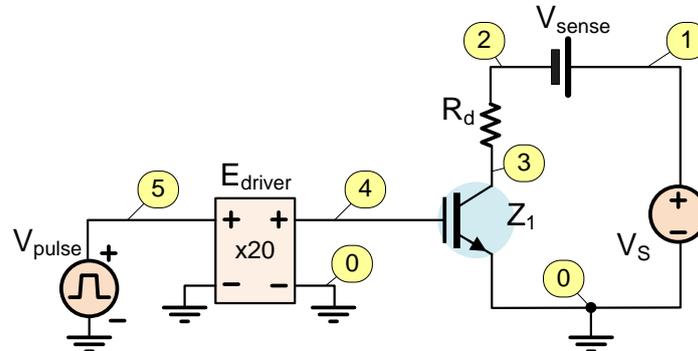
1. Tuliskanlah program tersebut dalam editor utama software PSpice AD Lite!
2. Simulasikanlah program tersebut, lalu tampilkan variabel-variabel yang dituliskan pada instruksi *.PROBE* ke dalam jendela *Waveform*!
3. Tampilkanlah kurva daya dan daya rata-rata yang mengalir pada simpul cabang (1,0)! Cara menampilkan kurva daya dan kurva daya rata-rata dapat dilihat pada **Bagian 2.5.4**.
4. Pindahkanlah gambar kurva simulasi dari Jendela *Waveform* ke Lembar Kerja yang disediakan. Lalu jelaskan apa yang Anda dapatkan dari hasil simulasi tersebut!

### 2.5.2 Model SPICE Rangkaian IGBT

Pada bagian ini praktikan/mahasiswa akan menuliskan program SPICE untuk untuk rangkaian elektronika daya sederhana menggunakan IGBT. **Listing 2.3** memperlihatkan program Spice rangkaian IGBT sederhana. Karena penjelasan mengenai program Spice telah diberikan sebelumnya, maka hanya beberapa penjelasan baris-baris program terutama yang baru



yang akan dijelaskan sebagai berikut: Adapun gambar acuan dari teks sirkuit Spice tersebut diperlihatkan pada **Gbr. 2.3**.



**Gbr. 2.3:** Diagram skematika acuan untuk Circuit Text pada Listing 2.3.

**Listing 2.3: Program Spice Rangkaian IGBT sederhana**

```
1 Rangkaian IGBT sederhana
2 .PARAM Period = 20ms
3 .PARAM Duty = 0.4 ; Batas nilai (0<Duty<1)
4 .PARAM PulseAmpl = 1.2V
5 VS 1 0 230
6 Vsens 1 2 0 ; sebagai sensor arus
7 Rd 2 3 100
8 Z1 3 4 0 IXGH40N60
9 .MODEL IXGH40N60 NIGBT (TAU=287.56E-9 KP=50.034 AREA=37.500E-6
10 + AGD=18.750E-6 VT=4.1822 KF=.36047 CGS=31.942E-9
11 + COXD=53.188E-9 VTD=2.6570)
12 Vpulse 5 0 PULSE (0 {PulseAmpl} 0 1ns 1ns {Duty*Period} {Period})
13 Edriver 4 0 5 0 20
14 .TRAN 0.5US 100MS 0 0.5uS
15 .PROBE V(2,3) V(3,0) I(Vsens) V(4,0) V(5,0)
16 .END
```

• **Baris 8:** merupakan ekspresi elemen IGBT yang diawali dengan huruf “Z”, yaitu Z1 3 4 0 IXGH40N60, yang berarti terminal *Collector*, *Base*, *Emitter* masing-masing terhubung ke simpul 3, 4 dan 0, yang mana IGBT yang digunakan menggunakan nama model IXGH40N60.

• **Baris 9, 10, 11:** merupakan ekspresi model IGBT IXGH40N60 yang berjenis NIGBT (tipe kanal N) yang diikuti oleh nilai-nilai parameter dari IGBT tersebut. Tanda “+” pada baris 10 dan baris 11 menunjukkan lanjutan dari baris sebelumnya.

• **Baris 12:** menunjukkan sumber tegangan berupa pulsa dengan amplitudo tertinggi sebesar PulseAmpl, siklus duty sebesar Duty\*Period dan periode pulsa sebesar Period yang mana parameter-parameter tersebut telah ditetapkan pada baris 2, 3 dan 4.

• **Baris 13:** menunjukkan sumber tegangan yang dikendalikan oleh tegangan yang diawali dengan huruf “E”, yaitu `Edriver 4 0 5 0 20` yang berarti tegangan luaran pada simpul (4,0) tergantung pada tegangan pada simpul (5 0) dikalikan dengan faktor pengali “20” seperti tertera pada baris program tersebut. Jadi bila  $V(5,0)$  bernilai 1.2 V, maka  $V(4,0)$  akan bernilai  $1.2 \times 20 = 24$  V.

Tahapan pelaksanaan praktikum untuk rangkaian IGBT sederhana ini adalah sebagai berikut:



Tahapan Pelaksanaan (Simulasi Rangkaian IGBT)

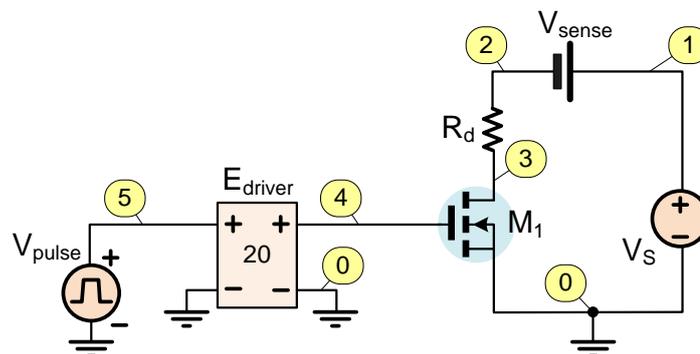
1. Tuliskanlah program tersebut dalam editor utama software PSpice AD Lite!
2. Simulasikanlah program tersebut, lalu tampilkan variabel-variabel yang dituliskan pada instruksi `.PROBE` ke dalam jendela `Waveform`!
3. Pindahkanlah gambar kurva simulasi dari Jendela `Waveform` ke Lembar Kerja yang disediakan. Lalu jelaskan apa yang Anda dapatkan dari hasil simulasi tersebut!

### 2.5.3 Model SPICE Rangkaian Power MOSFET

Pada bagian ini praktikan/mahasiswa akan menuliskan program SPICE untuk rangkaian elektronika daya sederhana menggunakan MOSFET. **Listing 2.4** memperlihatkan program Spice rangkaian MOSFET sederhana. Karena penjelasan mengenai program Spice telah diberikan sebelumnya, maka hanya beberapa penjelasan baris-baris program terutama yang baru yang akan dijelaskan sebagai berikut: Adapun gambar acuan dari teks sirkuit Spice tersebut diperlihatkan pada **Gbr. 2.4**.



Rangkaian MOSFET Sederhana



Gbr. 2.4: Diagram skematika acuan untuk `Circuit Text` pada `Listing 2.4`.

• **Baris 8:** merupakan ekspresi elemen MOSFET yang diawali dengan huruf “M”, yaitu `M1 3 4 0 0 IRF150`, yang berarti terminal *Drain*, *Gate*,

*Source* dan *Bulk* masing-masing terhubung ke simpul 3, 4, 0 dan 0, yang mana MOSFET yang digunakan menggunakan nama model IRF150.

• **Baris 9, 10, 11:** merupakan ekspresi model MOSFET IRF150 yang berjenis NMOS yang diikuti oleh nilai-nilai parameter dari MOSFET tersebut. Tanda “+” pada baris 10 dan baris 11 menunjukkan lanjutan dari baris sebelumnya.

#### Listing 2.4: Program Spice Rangkaian Power MOSFET sederhana

```

1 Rangkaian Power MOSFET sederhana
2 .PARAM Period = 20ms
3 .PARAM Duty = 0.4 ; Batas nilai (0<Duty<1)
4 .PARAM PulseAmpl = 1.2V
5 VS 1 0 230
6 Vsens 1 2 0 ; sebagai sensor arus
7 Rd 2 3 100
8 M1 3 4 0 0 IRF150
9 .MODEL IRF150 NMOS (TOX=100N PHI=.6 KP=20.53U W=0.3 L=2U
10 +VTO=2.831 RD=1.031M RDS=444.4K CBD=3.229N PB=0.8 MJ=0.5
11 +CGSO=9.027N CGDO=1.679N RG=13.89 IS=194E-18 N=1 TT=288N)
12 Vpulse 5 0 PULSE (0 {PulseAmpl} 0 1ns 1ns {Duty*Period} {Period})
13 Edriver 4 0 5 0 20
14 .TRAN 0.5US 100MS 0 0.5uS
15 .PROBE V(2,3) V(3,0) I(Vsens) V(4,0) V(5,0)
16 .END

```

Tahapan pelaksanaan praktikum untuk rangkaian Power MOSFET sederhana ini adalah sebagai berikut:

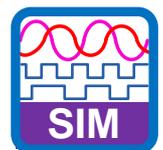
1. Tuliskanlah program tersebut dalam editor utama software PSpice AD Lite!
2. Simulasikanlah program tersebut, lalu tampilkan variabel-variabel yang dituliskan pada instruksi `.PROBE` ke dalam jendela **Waveform**!
3. Pindahkanlah gambar kurva simulasi dari Jendela **Waveform** ke Lembar Kerja yang disediakan. Lalu jelaskan apa yang Anda dapatkan dari hasil simulasi tersebut!

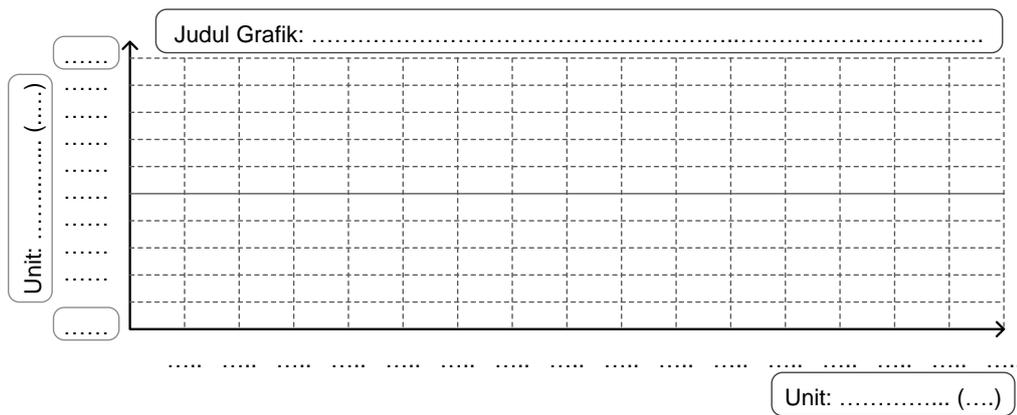


Tahapan Pelaksanaan (Simulasi Rangkaian MOSFET)

#### 2.5.4 Hasil Simulasi dan Analisis

Setelah menuliskan program SPICE, praktikan/mahasiswa akan menganalisis hasil simulasi SPICE dari setiap rangkaian elektronika daya tersebut. Gambar hasil simulasi waveform dapat dilakukan dengan menggunakan template yang disediakan seperti pada **Gbr. 2.5** atau langsung *copy-paste* dari jendela **Waveform** software PSpice AD Lite. Penjelasan mengenai cara memindahkan gambar kurva sudah dijelaskan pada modul praktikum sebelumnya.





Gbr. 2.5: Hasil simulasi program SPICE.

Untuk mengukur atau menambahkan kurva daya yang mengalir pada suatu cabang ke dalam jendela **Waveform**, maka variabel yang dibutuhkan adalah beda potensial atau tegangan pada dua titik simpul cabang dan arus yang mengalir pada cabang tersebut. Misalnya tegangan pada simpul cabang (1,0) diekspresikan sebagai  $V(1,0)$  dan arus pada cabang diekspresikan sebagai  $I(Vx)$ , maka langkah-langkah berikut Anda lakukan untuk menambahkan kurva daya dan/atau kurva daya rata-rata pada cabang tersebut.

1. Pilih jendela **Plot** tempat dimana kurva itu ditambahkan;
2. Klik menu **Trace>Add Trace** atau ketik tombol **Insert** pada keyboard komputer Anda!
3. Setelah jendela **Add Traces** muncul, ketikkanlah pada bidang isian **Trace Expression** ekspresi berikut:  $V(1,0)*I(Vx)$ .
4. Untuk menampilkan kurva daya rata-rata, ketikkanlah pada bidang isian **Trace Expression** ekspresi berikut:  $Avg(V(1,0)*I(Vx))$ .

### 2.5.5 Perancangan dan Pengujian Alat



Pada bagian ini praktikan/mahasiswa akan mendesain atau menseptup atau menyusun rangkaian elektronika daya yang akan dipelajari. Setelah itu rangkaian tersebut akan diuji dengan cara mengukur parameter-parameter rangkaian.

## 2.6 Rangkuman

Setelah menjalani praktikum, praktikum/mahasiswa wajib merangkum beberapa hal dan melaporkan secara umum hasil pelaksanaan praktikum.

Adapun hal-hal yang perlu diinvestigasi lebih jauh dan dapat dirangkum di dalam laporan adalah sbb:



1. Apakah ada pengaruh **PulseWidth** yang diterapkan pada terminal gate SCR terhadap arus dan tegangan luaran SCR?
2. Bagaimana hubungan tendensi antara sudut penyalaan SCR terhadap daya dan daya rata dari yang dihasilkan pada terminal luaran dari contoh rangkaian SCR yang diberikan pada buku penuntun ini?
3. Praktikan/mahasiswa dapat menyimpulkan apa manfaat SCR dalam aplikasi rangkaian elektronika daya terutama dikaitkan dengan pengaturan aliran daya?
4. Apakah ada pengaruh level tegangan yang diterapkan pada terminal *Gate* MOSFET terhadap besar arus listrik yang mengalir dari terminal *Drain* ke terminal *Source* dari MOSFET tersebut?



# MODUL 3

## Penyearah Berbasis Thyristor SCR

### Daftar Isi

---

<b>3.1</b>	<b>Tujuan dan sasaran . . . . .</b>	<b>29</b>
<b>3.2</b>	<b>Landasan Pemahaman . . . . .</b>	<b>30</b>
<b>3.3</b>	<b>Soal-soal Teori Dasar . . . . .</b>	<b>30</b>
<b>3.4</b>	<b>Persiapan Alat dan Bahan . . . . .</b>	<b>30</b>
<b>3.5</b>	<b>Pelaksanaan . . . . .</b>	<b>31</b>
3.5.1	Pemrograman SPICE . . . . .	31
3.5.2	Hasil Simulasi dan Analisis . . . . .	33
3.5.3	Perancangan dan Pengujian Alat . . . . .	34
<b>3.6</b>	<b>Rangkuman . . . . .</b>	<b>34</b>

---

### 3.1 Tujuan dan sasaran

Tujuan dan sasaran yang ingin dicapai setelah melaksanakan praktikum pada modul ini antara lain adalah:



1. Praktikan/mahasiswa mampu mengenal dan memahami fungsi dari piranti Thyristor SCR (*Silicon Controlled Rectifier*) dalam rangkaian elektronika daya
2. Praktikan/mahasiswa mampu menjelaskan prinsip kerja rangkaian penyearah berbasis Thyristor SCR.

## 3.2 Landasan Pemahaman



Sebelum memulai praktikum, praktikan/mahasiswa perlu memiliki landasan pemahaman yang baik atau teori-teori dasar terkait dengan topik yang akan dipraktikumkan. Mahasiswa juga dituntut untuk aktif menggali informasi atau pengetahuan mengenai topik praktikum terkait, sehingga mampu menjawab pertanyaan-pertanyaan mendasar yang diberikan pada sub-bab selanjutnya.

Rangkaian penyearah (*Rectifier*) secara umum dapat dibagi ke dalam 2 kelas ditinjau dari sisi pasivitasnya, yaitu penyearah pasif dan penyearah aktif. Penyearah yang dirancang menggunakan dioda sambungan PN biasa termasuk dalam golongan penyearah yang pasif. Disebut pasif karena aliran daya pada rangkaian tidak dapat dikendalikan. Penyearah yang dibangun menggunakan komponen SCR bersifat aktif karena aliran daya dalam rangkaian dapat diatur. Pengaturan aliran daya dapat dilakukan dengan cara mengatur sudut penyalaan (*firing angle*) dari SCR. Pengaturan sudut penyalaan tersebut secara langsung akan mengatur waktu aktif SCR, sehingga secara tidak langsung daya yang mengalir melalui rangkaian penyearah dapat diatur.

## 3.3 Soal-soal Teori Dasar



Sebelum memulai praktikum, praktikan/mahasiswa perlu memahami dan menjelaskan teori-teori dasar terkait praktikum yang akan dijalakankan. Di bawah ini adalah pertanyaan-pertanyaan yang wajib dijawab oleh mahasiswa sebelum memulai praktikum. Siapkan lembaran khusus untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan tersebut.

1. Apakah yang dimaksud dengan rangkaian penyearah (*rectifier circuit*)?
2. Sebutkan dan jelaskan secara singkat dimana saja rangkaian penyearah ditemukan (sebutkan minimal 3 bidang aplikasi)!
3. Rangkaian penyearah (berbasis Dioda) dapat dibagi ke dalam rangkaian penyearah gelombang setengah dan gelombang penuh. Gambarkanlah dan jelaskanlah perbedaan kedua rangkaian tersebut!

## 3.4 Persiapan Alat dan Bahan



Sebelum memulai praktikum, praktikan/mahasiswa perlu mempersiapkan beberapa peralatan ukur dan bahan-bahan praktikum. Alat dan bahan yang perlu disiapkan adalah sebagai berikut:

1. Komputer dekstop/laptop dengan program SPICE yang sudah terinstall di dalamnya.
2. Mikrokontroler kit yang berfungsi untuk membangkitkan sinyal pulsa.
3. Osiloskop analog/digital untuk mengukur sinyal-sinyal analog dan digital.
4. Perangkat Suplai Daya Listrik (*Power Supply*).
5. Komponen-komponen resistor, mikrokontroler, optocoupler MOC8043, SCR TYN812, dsb.

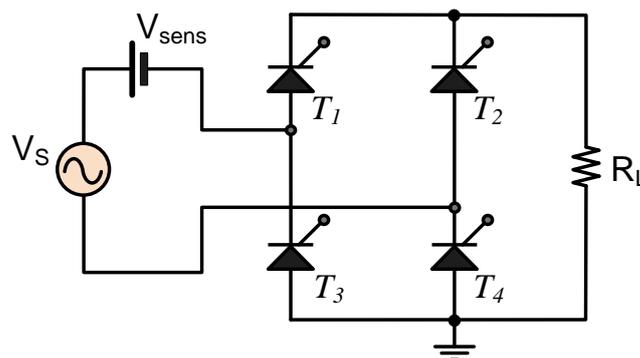
## 3.5 Pelaksanaan

Setelah mempersiapkan alat-alat dan bahan-bahan praktikum, selanjutnya praktikan/mahasiswa akan melaksanakan tahapan praktikum yang akan diuraikan pada sub-sub bagian berikut ini.



### 3.5.1 Pemrograman SPICE

Pada bagian ini praktikan/mahasiswa akan menuliskan program SPICE untuk beberapa rangkaian elektronika daya yang akan dipelajari. Ada 2 jenis rangkaian yang akan dianalisis dan diuji. Perhatikan rangkaian penyearah berbasis SCR seperti ditunjukkan pada **Gbr. 3.1** dan rangkaian penyearah SCR-Dioda seperti ditunjukkan pada **Gbr. 3.2**.



**Gbr. 3.1:** Diagram skematika rangkaian penyearah berbasis SCR.

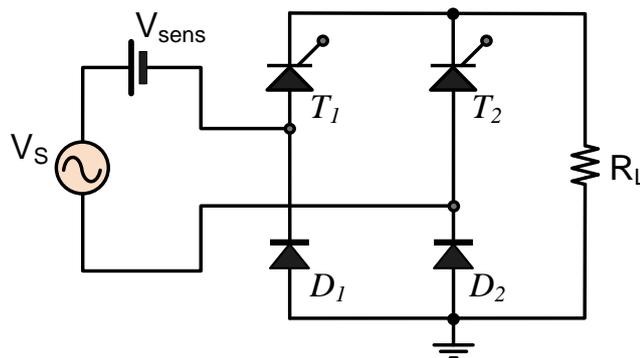
Tahapan pelaksanaan praktikum untuk rangkaian penyearah berbasis SCR ini adalah sebagai berikut:

1. Tuliskanlah program Spice dalam editor utama software PSpice AD Lite untuk rangkaian SCR yang ditunjukkan pada **Gbr. 3.1**, dengan parameter-parameter sbb:



Tahapan  
Pelaksanaan  
(Tuliskan Program  
Spice)

- Tuliskanlah nomor simbol pada setiap simpul rangkaian seperlunya. Tetapkan titik Ground dengan nomor simbol “0”!
  - Tetapkan nilai R secara bebas antara nilai  $100\Omega$  hingga  $1k\Omega$ !
  - Tetapkanlah  $V_S$  sebagai sumber tegangan dengan amplitudo bebas antara 100 hingga 230 Volt, dan frekuensi 50 Hz!
  - Tetapkan nilai  $V_{sens} = 0$  yang berfungsi sebagai elemen perantara untuk mengukur arus listrik!
  - Gunakan model sub-sirkuit SCR yang digunakan pada praktikum sebelumnya!
  - Terapkanlah sumber tegangan pulsa pada terminal gate dari setiap SCR  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  dan  $T_4$  dengan benar, lalu aturlah sudut penyalan SCR dengan benar pada sudut-sudut tertentu!
  - Tuliskanlah variabel-variabel tegangan dan arus listrik masukan dan luaran setelah instruksi `.PROBE`!
2. Simulasikanlah program tersebut, lalu tampilkan variabel-variabel yang dituliskan pada instruksi `.PROBE` ke dalam jendela `Waveform`!
  3. Tampilkanlah kurva tegangan listrik masukan  $V_S$ , kurva arus listrik masukan ( $I(V_{sens})$ ), kurva tegangan luaran (pada terminal  $R_L$ ), kurva arus pada beban  $R_L$ , kurva daya dan daya rata-rata yang mengalir pada beban  $R_L$ !
  4. Pindahkanlah gambar kurva simulasi dari Jendela `Waveform` ke Lembar Kerja yang disediakan. Lalu jelaskan apa yang Anda dapatkan dari hasil simulasi tersebut!



Gbr. 3.2: Diagram skematika rangkaian penyearah berbasis SCR dan Dioda.

Tahapan pelaksanaan praktikum untuk rangkaian penyearah berbasis SCR dan Dioda adalah sebagai berikut:

1. Tuliskanlah program Spice dalam editor utama software PSpice AD Lite untuk rangkaian SCR-Dioda yang ditunjukkan pada **Gbr. 3.2**, dengan parameter-parameter seperti pada program Spice sebelumnya.
2. Untuk piranti Dioda, gunakan model piranti seperti ditunjukkan di bawah ini.



Tahapan Pelaksanaan (Tuliskan Program Spice 2)

```
DX anoda katoda DMOD
.MODEL DMOD D(IS=2.2E-15 BV=1200V CJO=1PF TT=0)
```

Pada contoh di atas, dioda DX, kaki-kakinya terhubung ke titik sambung anoda dan katoda dengan nama model DMOD, yang mana pada baris berikutnya ditunjukkan deklarasi model DMOD tersebut. Nama model misalnya DMOD dapat dituliskan dengan sebuah teks kata secara bebas.

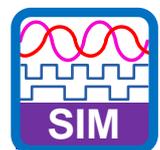
3. Simulasikanlah program tersebut, lalu tampilkan variabel-variabel yang dituliskan pada instruksi `.PROBE` ke dalam jendela **Waveform**!
4. Tampilkanlah kurva tegangan listrik masukan  $V_S$ , kurva arus listrik masukan ( $I(V_{sens})$ ), kurva tegangan luaran (pada terminal  $R_L$ ), kurva arus pada beban  $R_L$ , kurva daya dan daya rata-rata yang mengalir pada beban  $R_L$ !
5. Pindahkanlah gambar kurva simulasi dari Jendela **Waveform** ke Lembar Kerja yang disediakan. Lalu jelaskan apa yang Anda dapatkan dari hasil simulasi tersebut!

### 3.5.2 Hasil Simulasi dan Analisis

Setelah menuliskan program SPICE, praktikan/mahasiswa akan menganalisis hasil simulasi SPICE dari rangkaian-rangkaian elektronika penyearah SCR tersebut.

Komentarihal hasil simulasi Anda, terutama dalam hal bagaimana SCR diaktifkan melalui pulsa penyalaan yang diterapkan ke terminal gate SCR, serta pengaruh sudut penyalaan tersebut terhadap aliran daya pada rangkaian. Bila perlu buatlah tabel yang menampilkan aliran daya rata-rata pada terminal luaran penyearah untuk beberapa nilai sudut penyalaan.

Cara untuk menampilkan kurva daya rata-rata telah dijelaskan pada modul praktikum sebelumnya.



### **3.5.3 Perancangan dan Pengujian Alat**



Pada bagian ini praktikan/mahasiswa akan mendesain atau menseptup atau menyusun rangkaian elektronika daya yang akan dipelajari. Setelah itu rangkaian tersebut akan diuji dengan cara mengukur parameter-parameter rangkaian.

## **3.6 Rangkuman**



Setelah menjalani praktikum, praktikum/mahasiswa wajib merangkum beberapa hal dan melaporkan secara umum hasil pelaksanaan praktikum. Adapun hal-hal yang perlu dirangkum adalah sebagai berikut:

1. Penjelasan mengenai perbedaan bentuk gelombang yang dihasilkan oleh penyearah berbasis Dioda dan penyearah berbasis SCR.
2. Penjelasan mengenai perbedaan dan/atau persamaan antara rangkaian penyearah jembatan penuh berbasis SCR dengan penyearah jembatan penuh gabungan antara SCR dan Dioda.
3. Prinsip kerja pengaturan sudut penyalaan piranti SCR dan pengaruh sudut penyalaan SCR terhadap daya yang dialirkan oleh penyearah SCR.
4. Manfaat utama dari rangkaian penyearah SCR.

# MODUL 4

## Inverter Satu-Fasa

### Daftar Isi

---

4.1	Tujuan dan sasaran . . . . .	35
4.2	Landasan Pemahaman . . . . .	36
4.3	Soal-soal Teori Dasar . . . . .	37
4.4	Persiapan Alat dan Bahan . . . . .	37
4.5	Pelaksanaan . . . . .	38
4.5.1	Pemrograman SPICE . . . . .	38
4.5.2	Hasil Simulasi dan Analisis . . . . .	40
4.5.3	Perancangan dan Pengujian Alat . . . . .	40
4.6	Rangkuman . . . . .	40

---

### 4.1 Tujuan dan sasaran



Tujuan dan sasaran yang ingin dicapai setelah melaksanakan praktikum pada modul ini antara lain adalah:

1. Praktikan/mahasiswa mampu mengenal dan memahami berbagai jenis inverter DC-AC satu-fasa, dan menjelaskan dengan baik fungsi-fungsi dari setiap komponen rangkaian inverter DC-AC satu fasa;
2. Praktikan/mahasiswa mampu menjelaskan prinsip kerja dari inverter DC-AC satu fasa;
3. Praktikan/mahasiswa mampu mendesain inverter DC-AC satu-fasa sesuai dengan spesifikasi yang diberikan.

## 4.2 Landasan Pemahaman



Sebelum memulai praktikum, praktikan/mahasiswa perlu memiliki landasan pemahaman yang baik atau teori-toeri dasar terkait dengan topik yang akan dipraktikumkan. Mahasiswa juga dituntut untuk aktif menggali informasi atau pengetahuan mengenai topik praktikum terkait, sehingga mampu menjawab pertanyaan-pertanyaan mendasar yang diberikan pada sub-bab selanjutnya.

Konverter DC-AC atau disebut juga sebagai inverter merupakan salah satu rangkaian elektronika daya yang berfungsi mengubah tegangan DC (*Direct Current*) menjadi tegangan AC (*Alternating Current*). Inverter dapat dikategorikan ke dalam beberapa jenis. Ditinjau dari jumlah fasanya, inverter dapat dibagi menjadi inverter satu-fasa (fasa tunggal) dan tiga-fasa (fasa majemuk). Saat ini telah berkembang pula jenis-jenis inverter dengan fasa lebih daripada tiga. Modul ini hanya akan membahas jenis inverter DC-AC satu-fasa.

Ditinjau dari jumlah level atau tingkatan tegangan luaran, inverter DC-AC dapat dibagi atas inverter satu-tingkat dan inverter banyak tingkat atau *Multilevel Inverter*, misalnya dua-tingkat, tiga-tingkat, empat-tingkat, dsb. Jumlah tingkatannya sangat tergantung pada konfigurasi rangkaian dan jumlah saklar elektronik (*transistor switch*) yang digunakan dalam rangkaianannya. Semakin banyak tingkatannya, maka semakin banyak pula jumlah saklar elektronik yang dibutuhkan untuk mengimplementasikannya.

Jenis inverter DC-AC satu tingkat merupakan yang jenis yang paling tradisional. Namun penerapannya masih banyak ditemukan di industri-industri. Dua jenis inverter DC-AC satu tingkat, yang sangat terkenal adalah inverter dengan struktur jembatan-setengah (*Half-Bridge Inverter*) dan struktur -jembatan-penuh (*Full-Bridge Inverter*). Jenis-jenis inverter multilevel yang cukup dikenal antara lain adalah Inverter Multilevel Dioda-Jepitan atau *Diode-Clamped Multilevel Inverter*, Inverter dengan Kapasitor Mengambang atau *Flying Capacitor Multilevel Inverter*, dan Inverter Jembatan H Terhubung Bertingkat atau *Cascade H-Bridge Inverter*. Inverter Dioda-Jepitan biasa juga disebut sebagai Inverter Titik Netral Jepitan atau Inverter *Neutral Point Clamped* (NPC).

Ditinjau dari cara pembangkitan pulsa kendali untuk membangkitkan luaran inversi, maka teknik pembangkitan pulsa kendali inverter dapat dibagi atas teknik gelombang kotak dan gelombang SPWM (*Sinusoidal Pulse-Width Modulation*). Jenis lain inverter yang juga cukup terkenal adalah Inverter Pulsa Resonan (*Resonant-Pulse Inverter*).

Ditinjau dari jenis sumber masukan atau variabel yang akan dikendalikan, maka inverter dapat dibagi atas tipe inverter sumber arus atau *Current Source Inverter* (CSI) dan inverter sumber tegangan atau *Voltage Source Inverter* (VSI). Pada CSI, arus masukan dipertahankan agar mendekati

titik konstan. Oleh karena itu, rangkaian CSI biasanya dilengkapi dengan rangkaian chopper sederhana pada sisi input yang kadang dilengkapi juga dengan filter sederhana. Pada beberapa contoh, rangkaian CSI biasanya diimplementasi dengan melibatkan SCR.

### 4.3 Soal-soal Teori Dasar

Sebelum memulai praktikum, praktikan/mahasiswa perlu memahami dan menjelaskan teori-teori dasar terkait praktikum yang akan dijalakan. Di bawah ini adalah pertanyaan-pertanyaan yang wajib dijawab oleh mahasiswa sebelum memulai praktikum. Siapkan lembaran khusus untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan tersebut.



1. Sebutkan dan jelaskan secara ringkas dimana saja inverter DC-AC diterapkan! (minimal 4 bidang aplikasi)
2. Apakah perbedaan mendasar antara Inverter Sumber Arus (CSI) dengan Inverter Sumber Tegangan (VSI)?
3. Jelaskan dan gambarkan susunan rangkaian inverter jembatan setengah dan jembatan penuh!
4. Jelaskan prinsip kerja Inverter Pulsa Resonan!
5. Jelaskan perbedaan mendasar antara Inverter Multilevel Dioda-Jepitan atau *Diode-Clamped Multilevel Inverter* dan Inverter Jembatan H Terhubung Bertingkat atau *Cascade H-Bridge Inverter*!

### 4.4 Persiapan Alat dan Bahan

Sebelum memulai praktikum, praktikan/mahasiswa perlu mempersiapkan beberapa peralatan ukur dan bahan-bahan praktikum. Alat dan bahan yang perlu disiapkan adalah sebagai berikut:



1. Komputer dekstop/laptop dengan program SPICE yang sudah terinstall di dalamnya.
2. Mikrokontroler kit yang berfungsi untuk membangkitkan sinyal pulsa.
3. Osiloskop analog/digital untuk mengukur sinyal-sinyal analog dan digital.
4. Perangkat Suplai Daya Listrik (*Power Supply*).
5. Komponen-komponen resistor, kapasitor, mikrokontroler, optocoupler TLP250, MOSFET IRFP460 atau MOSFET IRF150, Power Diode IN4004 (rating di atas 230V), MOSFET Driver IR2110, dsb.

## 4.5 Pelaksanaan

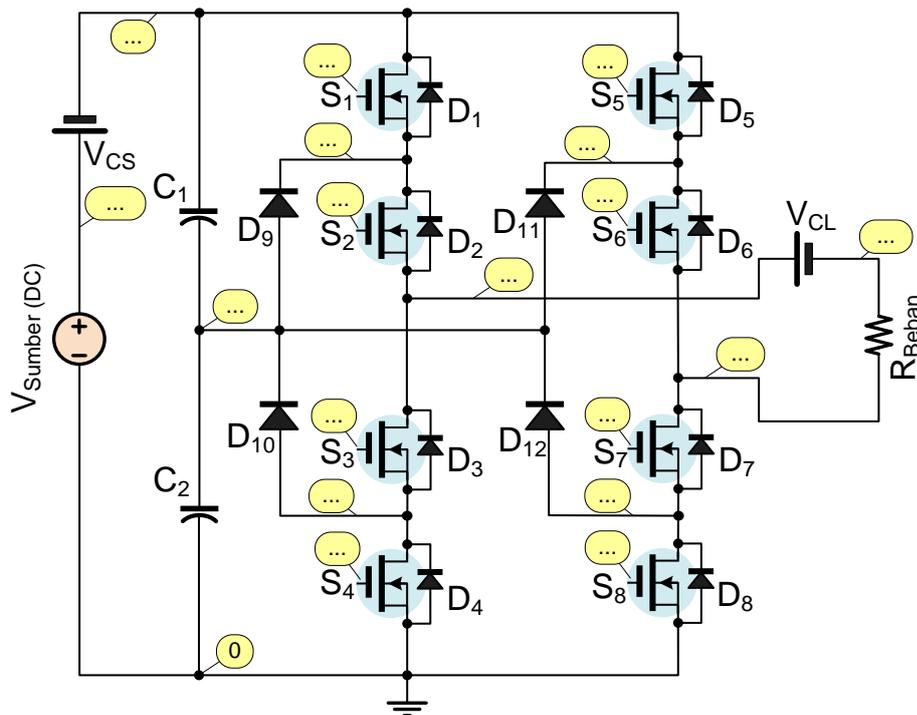


Setelah mempersiapkan alat-alat dan bahan-bahan praktikum, selanjutnya praktikan/mahasiswa akan melaksanakan tahapan praktikum yang akan diuraikan pada sub-sub bagian berikut ini. Pada bagian ini, praktikan akan dituntut untuk mendesain sebuah rangkaian inverter DC-AC dua-tingkat (jenis *Diode-Clamped Multilevel Inverter*) serta sinyal PWM yang dibutuhkan, agar dihasilkan tegangan luaran yang diinginkan.



### 4.5.1 Pemrograman SPICE

Pada bagian ini praktikan/mahasiswa akan menuliskan program SPICE untuk beberapa rangkaian elektronika daya yang akan dipelajari. Perhatikanlah rangkaian inverter DC-AC multilevel (dua-level) satu-fasa jenis Dioda-Jepitan seperti terlihat pada Gbr. 4.1.



Gbr. 4.1: Diagram skematika rangkaian Inverter Satu-Fasa jenis Dioda-Jepitan (*Diode-Clamped Multilevel Inverter*).

Tahapan pelaksanaan praktikum untuk rangkaian inverter ini adalah sebagai berikut:



Tahapan Pelaksanaan  
(Tuliskan Program Spice)

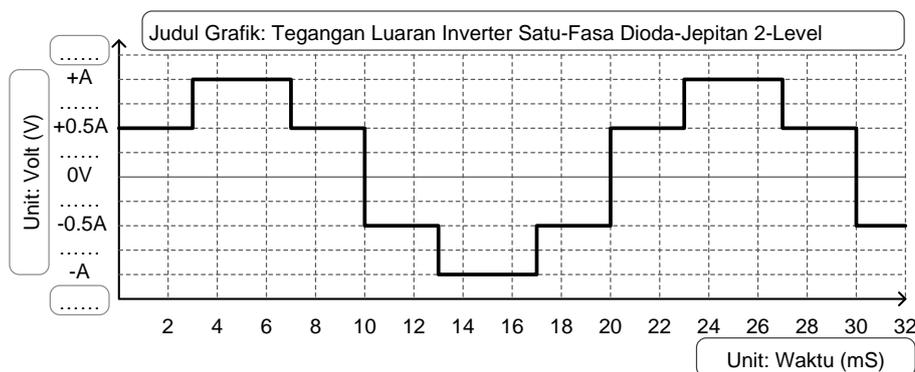
1. Tuliskanlah program Spice dalam editor utama software PSpice AD Lite untuk rangkaian Inverter yang ditunjukkan pada Gbr. 4.1, dengan parameter-parameter sbb:

- Tuliskanlah nomor simbol pada setiap simpul rangkaian seperlunya. Tetapkan titik *Ground* dengan nomor simbol “0”!
- Tetapkan nilai  $R$  secara bebas antara nilai  $100\Omega$  hingga  $1k\Omega$ !
- Tetapkan nilai  $C_1$  dan  $C_2$  secara bebas antara nilai  $10\mu F$  hingga  $50\mu F$ !
- Tetapkanlah  $V_{Source}$  sebagai sumber tegangan DC 110 hingga 230 Volt!
- Tetapkan nilai  $V_{CL} = V_{CS} = 0$  yang berfungsi sebagai elemen perantara untuk mengukur arus listrik!
- Gunakan model Dioda sebagai berikut!  

```
.model DIN750 D(Is=880.5E-18 Rs=0.25 Ikf=0 N=1 Xti=3 Eg=1.11
Cjo=175p M=0.5516 Vj=0.75 FC=0.5 Isr=1.859n Nr=2 Bv=4.7 Ibv=20.245m
Nbv=1.6989 Ibvl=1.9556m Nbv1=14.976)
```
- Gunakan model NMOS sebagai berikut!  

```
.model IRF150 NMOS (VTO=2.83 KP=31.2U L=1U W=30M CGDO=0.418N
CGSO=2.032N)
```
- Terapkanlah sumber tegangan pulsa pada terminal gate dari setiap 8 saklar elektronis NMOS  $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7$  dan  $S_8$  dengan tepat dan benar, sehingga dihasilkan luaran inverter dua-tingkat dengan perioda 20 mS atau berfrekuensi 50 Hz, seperti terlihat pada **Gbr. 4.2**!

**Catatan Penting:** Pada setiap penerapan sumber tegangan pulsa untuk sebuah NMOS, titik positif sumber tegangannya terhubung ke terminal *Gate* sedangkan titik negatifnya terhubung ke terminal *Source* dari NMOS tersebut, bukan ke titik *Ground*.



**Gbr. 4.2:** Bentuk luaran inverter yang diinginkan.

- Amplitudo tegangan pulsa pada gate NMOS dapat Anda tetapkan bebas antara 20V hingga 40V.

- Tuliskanlah variabel-variabel tegangan, terutama tegangan pulsa yang diterapkan pada tiap terminal gate NMOS, arus pada beban dan tegangan luaran setelah instruksi `.PROBE`!
2. Simulasikanlah program tersebut, lalu tampilkan variabel-variabel yang dituliskan pada instruksi `.PROBE` ke dalam jendela **Waveform**!
  3. Tampilkanlah kurva tegangan listrik luaran inverter, kurva arus pada beban  $R_L$  ( $I(V_{CL})$ ), kurva daya dan daya rata-rata yang mengalir pada beban  $R_L$ !
  4. Pada jendela **Waveform** yang berbeda atau terpisah, tampilkan pula tegangan pulsa yang diterapkan pada tiap terminal gate NMOS!
  5. Pindahkanlah gambar kurva simulasi dari Jendela **Waveform** ke Lembar Kerja yang disediakan. Lalu jelaskan apa yang Anda dapatkan dari hasil simulasi tersebut!

### 4.5.2 Hasil Simulasi dan Analisis

Bagian terpenting dalam mendesain program Spice adalah menganalisis bentuk-bentuk timing pulsa yang perlu diberikan agar inverter menghasilkan tegangan luaran seperti terlihat pada **Gbr. 4.2**. Disarankan agar praktikan menganalisis aliran arus untuk setiap kondisi *on-state* saklar NMOS.

Sebagai contoh, bila  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_7$  dan  $S_8$  ON, sedangkan  $S_3$ ,  $S_4$ ,  $S_5$  dan  $S_6$  OFF, maka akan diperoleh tegangan luaran maximum. Bila  $S_2$  dan  $S_3$  ON, sedangkan  $S_1$  dan  $S_4$  OFF, maka akan diperoleh tegangan luaran setengah dari tegangan maksimum tadi. Analisis aliran arus dapat pula dilakukan dengan bantuan Program Spice.



Setelah menuliskan program SPICE, praktikan/mahasiswa akan menganalisis hasil simulasi SPICE dari rangkaian-rangkaian elektronika daya tersebut.

### 4.5.3 Perancangan dan Pengujian Alat



Pada bagian ini praktikan/mahasiswa akan mendesain atau menseptup atau menyusun rangkaian elektronika daya yang akan dipelajari. Setelah itu rangkaian tersebut akan diuji dengan cara mengukur parameter-parameter rangkaian.

## 4.6 Rangkuman



Setelah menjalani praktikum, praktikum/mahasiswa wajib merangkum beberapa hal dan melaporkan secara umum hasil pelaksanaan praktikum. Adapun hal-hal yang perlu dirangkum adalah sebagai berikut:

1. Penjelasan mengenai cara kerja atau prinsip kerja inverter dioda-jepitan.
2. Penjelasan disertai gambar bentuk pulsa kendali yang perlu diterapkan ke tiap-tiap terminal *Gate* transistor NMOS, agar dihasilkan tegangan luaran multi tingkat.
3. Pembahasan mengenai pengaruh amplitudo tegangan pulsa yang diterapkan pada terminal gate NMOS terhadap amplitudo tegangan luaran inverter.



# MODUL 5

## Konverter DC-DC

### Daftar Isi

---

5.1	Tujuan dan sasaran . . . . .	43
5.2	Landasan Pemahaman . . . . .	44
5.3	Soal-soal Teori Dasar . . . . .	45
5.4	Persiapan Alat dan Bahan . . . . .	45
5.5	Pelaksanaan . . . . .	46
5.5.1	Pemrograman SPICE . . . . .	46
5.5.2	Hasil Simulasi dan Analisis . . . . .	47
5.5.3	Perancangan dan Pengujian Alat . . . . .	48
5.6	Rangkuman . . . . .	48

---

### 5.1 Tujuan dan sasaran



Tujuan dan sasaran yang ingin dicapai setelah melaksanakan praktikum pada modul ini antara lain adalah:

1. Praktikan/mahasiswa mampu mengenal, memahami dan menjelaskan fungsi-fungsi dan jenis-jenis konverter DC-DC.
2. Praktikan/mahasiswa mampu menetapkan parameter-parameter konverter DC-DC dengan tepat sehingga menghasilkan performa yang diinginkan.
3. Praktikan/mahasiswa mampu menjelaskan prinsip kerja dari konverter DC-DC penurun, penaik dan penurun-penaik tegangan.

## 5.2 Landasan Pemahaman



Sebelum memulai praktikum, praktikan/mahasiswa perlu memiliki landasan pemahaman yang baik atau teori-toeri dasar terkait dengan topik yang akan dipraktikumkan. Mahasiswa juga dituntut untuk aktif menggali informasi atau pengetahuan mengenai topik praktikum terkait, sehingga mampu menjawab pertanyaan-pertanyaan mendasar yang diberikan pada sub-bab selanjutnya.

Konverter DC-DC atau bisa juga disebut sebagai rangkaian Chopper<sup>1</sup> merupakan salah satu jenis rangkaian elektronika daya yang berfungsi mengubah level tegangan DC ke level tegangan DC yang lain. Ditinjau dari perubahan level tegangannya, secara umum konverter DC-DC dapat dibagi atas konverter penurun tegangan (*step-down converter*) atau *buck converter*, konverter penaik tegangan (*step-up converter*) atau *boost converter* dan konverter penurun/penaik tegangan atau *buck-boost converter*. Ketiga jenis konverter DC-DC ini akan dibahas dalam praktikum kali ini.

Selain itu, konverter DC-DC juga dapat dikategorikan berdasarkan domain polaritas kerja arus dan tegangan outputnya. Berdasarkan hal tersebut, maka konverter DC-DC dapat dioperasikan ke dalam 4 buah kuadran operasi. Di antaranya adalah daerah operasi kuadran I (tegangan output positif, arus output positif), daerah operasi kuadran II (tegangan output positif, arus output negatif), daerah operasi kuadran III (tegangan output negatif, arus output negatif) dan daerah operasi kuadran IV (tegangan output negatif, arus output positif). Namun demikian, dalam praktikum ini kita tidak membahas lebih jauh mengenai kategori ini.

Seiring perkembangan jaman, telah banyak jenis-jenis konverter DC-DC yang telah dikembangkan oleh praktisi industri dan oleh akademisi. Salah satu jenis konverter DC-DC jenis *buck-boost converter* yang cukup terkenal adalah konverter SEPIC (*Single-Ended Primary Inductive Converter*). Selain itu, konverter DC-DC jenis pompa muatan (*Charge Pump*) juga banyak ditemukan dalam berbagai bidang aplikasi elektronika terpadu dan elektronika daya. Salah satu jenis konverter DC-DC pompa muatan yang paling mendasar adalah rangkaian *Dickson Charge Pump*, yang bekerja menggunakan prinsip pemompaan muatan pada kapasitor-kapasitor oleh dua buah pulsa kendali yang diterapkan rangkaian.

Konverter DC-DC memiliki peranan yang sangat penting di era energi terbarukan dan era kendaraan listrik dan listrik hibrida, termasuk juga dalam berbagai aplikasi industri. Dalam aplikasi pengendalian motor listrik DC, yang disuplai oleh sumber listrik DC berupa baterai yang konstan, konverter DC-DC ini berfungsi menyediakan output level tegangan DC yang

---

<sup>1</sup>Beberapa referensi mendefinisikan Chopper sebagai rangkaian yang mengkonversi secara langsung tegangan DC konstan ke berbagai level tegangan DC tertentu yang berbeda

bervariasi. Kenaikan dan penurunan level tegangan listrik DC akan memberikan dampak pada kecepatan putar dan daya listrik yang diterapkan ke motor DC. Sebaliknya dalam berbagai aplikasi energi terbarukan, konverter DC-DC banyak berfungsi menyediakan level tegangan listrik yang konstan dari sumber tegangan listrik yang berubah-ubah. Sebagaimana kita ketahui, sumber listrik energi terbarukan bersifat *ambient*, yaitu karakteristik kesediaannya yang tidak konstan dan tidak mudah ditebak. Rangkaian pengisi baterai dalam aplikasi sistem fotovoltaik adalah salah satu contoh kasus penerapan konverter DC-DC tersebut.

### 5.3 Soal-soal Teori Dasar

Sebelum memulai praktikum, praktikan/mahasiswa perlu memahami dan menjelaskan teori-teori dasar terkait praktikum yang akan dijalakan. Di bawah ini adalah pertanyaan-pertanyaan yang wajib dijawab oleh mahasiswa sebelum memulai praktikum. Siapkan lembaran khusus untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan tersebut.



1. Sebutkan dan jelaskan ciri-ciri yang membedakan rangkaian *Charge Pump* dengan rangkaian konverter DC-DC yang lain pada umumnya!
2. Salah satu rangkaian *Charge Pump* yang sangat terkenal adalah rangkaian *Dickson Charge Pump*. Gambarkan dan jelaskan secara singkat prinsip kerjanya!
3. Sebutkan minimal 3 wilayah aplikasi dari rangkaian konverter DC-DC!

### 5.4 Persiapan Alat dan Bahan

Sebelum memulai praktikum, praktikan/mahasiswa perlu mempersiapkan beberapa peralatan ukur dan bahan-bahan praktikum. Alat dan bahan yang perlu disiapkan adalah sebagai berikut:



1. Komputer dekstop/laptop dengan program SPICE yang sudah terinstall di dalamnya.
2. Mikrokontroler kit yang berfungsi untuk membangkitkan sinyal pulsa.
3. Osiloskop analog/digital untuk mengukur sinyal-sinyal analog dan digital.
4. Perangkat Suplai Daya Listrik (*Power Supply*).

5. Komponen-komponen resistor, kapasitor, induktor, mikrokontroler, optocoupler TLP250, MOSFET IRFP460 atau MOSFET IRF150, Power Diode IN4004 (rating di atas 230V), MOSFET Driver IR2110, dsb.

## 5.5 Pelaksanaan

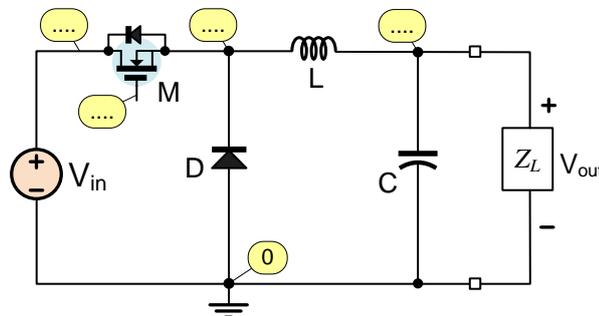


Setelah mempersiapkan alat-alat dan bahan-bahan praktikum, selanjutnya praktikan/mahasiswa akan melaksanakan tahapan praktikum yang akan diuraikan pada sub-sub bagian berikut ini. Ada 3 jenis rangkaian konverter DC-DC yang akan disimulasikan dan diujicobakan dalam praktikum kali ini, yaitu konverter DC-DC jenis *buck converter*, *boost converter* dan jenis *buck-boost converter*.

### 5.5.1 Pemrograman SPICE



Pada bagian ini praktikan/mahasiswa akan menuliskan program SPICE untuk 3 jenis rangkaian konverter DC-DC yang akan dipelajari pada bab ini, yaitu rangkaian *buck converter*, *boost converter* dan rangkaian *buck-boost converter*.



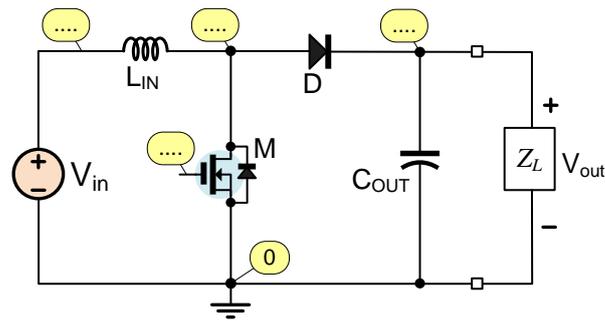
Gbr. 5.1: Diagram skematika rangkaian konverter penurun tegangan (*Buck Converter*).

Tahapan pelaksanaan praktikum untuk rangkaian chopper ini adalah sebagai berikut:

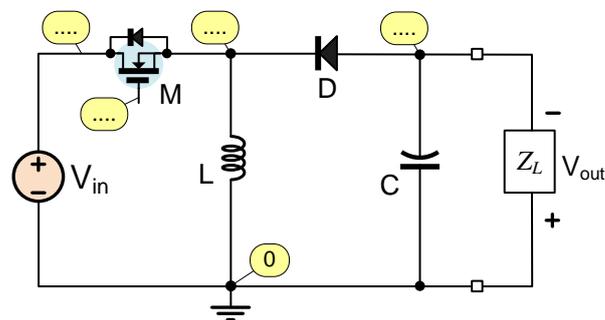


Tahapan Pelaksanaan (Tuliskan Program Spice)

1. Tuliskanlah masing-masing program Spice dalam editor utama software PSpice AD Lite untuk rangkaian Chopper yang ditunjukkan pada **Gbr. 5.1**, **Gbr. 5.2** dan **Gbr. 5.3** dengan parameter-parameter sbb:
  - Tuliskanlah nomor simbol pada setiap simpul rangkaian seperlunya. Tetapkan titik Ground dengan nomor simbol "0"!



Gbr. 5.2: Diagram skematika rangkaian konverter penaik tegangan (*Boost Converter*).

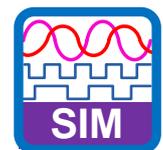


Gbr. 5.3: Diagram skematika rangkaian konverter penurun/penaik tegangan (*Buck-Boost Converter*).

- Tetapkan beban  $Z_L$  sebagai resistor dengan nilai secara bebas antara nilai  $100 \Omega$  hingga  $1 \text{ k}\Omega$ !
- Tetapkan nilai  $C$  secara bebas antara nilai  $10 \mu\text{F}$  hingga  $100 \mu\text{F}$ !
- Tetapkan nilai  $L$  secara bebas antara nilai  $10 \mu\text{H}$  hingga  $10 \text{ mH}$ !
- Tetapkanlah  $V_{in}$  sebagai sumber tegangan DC yang nilainya antara  $45 \text{ V}$  hingga  $50 \text{ Volt}$ !
- Tetapkanlah frekuensi dan rasio duty yang tepat dari pulsa yang diterapkan pada transistor MOSFET M!
- Gunakan model Dioda dan MOSFET seperti pada praktikum sebelumnya!

### 5.5.2 Hasil Simulasi dan Analisis

Setelah menuliskan program SPICE, praktikan/mahasiswa akan menganalisis hasil simulasi SPICE dari rangkaian-rangkaian elektronika daya tersebut. Analisis terhadap hasil simulasi berfokus pada tiga hal:



1. Hubungan atau keterkaitan antara nilai induktansi induktor terhadap frekuensi kerja dari saklar elektronik. Baik nilai induktor dan frekuensi

penyaklaran (*switching frequency*), keduanya mesti disetting secara tepat untuk menghasilkan performa yang diharapkan, yaitu berupa ripple atau ayunan tegangan luaran DC yang cukup kecil.

2. Batasan nilai induktor terhadap spesifikasi daya luaran yang akan dihasilkan oleh rangkaian chopper tersebut.
3. Hubungan antara rasio duty pulsa penyaklaran dengan level tegangan luaran yang dihasilkan.

### 5.5.3 Perancangan dan Pengujian Alat



Pada bagian ini praktikan/mahasiswa akan mendesain atau menseptup atau menyusun rangkaian elektronika daya yang akan dipelajari. Setelah itu rangkaian tersebut akan diuji dengan cara mengukur parameter-parameter rangkaian.

## 5.6 Rangkuman



Setelah menjalani praktikum, praktikum/mahasiswa wajib merangkum beberapa hal dan melaporkan secara umum hasil pelaksanaan praktikum. Adapun hal-hal yang perlu dirangkum adalah sebagai berikut:

1. Penjelasan dan analisa hubungan atau keterkaitan antara nilai induktansi induktor terhadap frekuensi kerja dari saklar elektronik.
2. Penjelasan dan analisa hubungan antara nilai induktor terhadap daya luaran yang akan dihasilkan oleh rangkaian chopper tersebut.
3. Penjelasan dan analisa hubungan antara rasio duty pulsa penyaklaran dengan level tegangan luaran yang dihasilkan.

# MODUL 6

## Inverter 3-Fasa dan Kendali Motor Listrik

### Daftar Isi

---

6.1	Tujuan dan sasaran . . . . .	49
6.2	Landasan Pemahaman . . . . .	50
6.3	Soal-soal Teori Dasar . . . . .	50
6.4	Persiapan Alat dan Bahan . . . . .	51
6.5	Pelaksanaan . . . . .	51
6.5.1	Pemrograman SPICE . . . . .	51
6.5.2	Hasil Simulasi dan Analisis . . . . .	51
6.5.3	Perancangan dan Pengujian Alat . . . . .	52
6.6	Rangkuman . . . . .	52

---

### 6.1 Tujuan dan sasaran

Tujuan dan sasaran yang ingin dicapai setelah melaksanakan praktikum pada modul ini antara lain adalah:



1. Praktikan/mahasiswa mampu mengenal dan memahami fungsi dari piranti-piranti dan komponen-komponen penting yang digunakan dalam merancang inverter 3-fasa.
2. Praktikan/mahasiswa mampu menjelaskan prinsip kerja dari inverter 3-fasa dan penerapannya untuk mengendalikan motor listrik.

## 6.2 Landasan Pemahaman



Sebelum memulai praktikum, praktikan/mahasiswa perlu memiliki landasan pemahaman yang baik atau teori-toeri dasar terkait dengan topik yang akan dipraktikumkan. Mahasiswa juga dituntut untuk aktif menggali informasi atau pengetahuan mengenai topik praktikum terkait, sehingga mampu menjawab pertanyaan-pertanyaan mendasar yang diberikan pada sub-bab selanjutnya.

Ditinjau dari jumlah fasa luarannya inverter DC-AC dapat dibagi atas inverter fasa-tunggal dan inverter fasa-majemuk. Salah jenis inverter fasa majemuk adalah inverter 3-fasa. Beberapa aplikasi penting inverter 3-fasa di antaranya adalah untuk menghasilkan tegangan tiga fasa dari sumber energi terbarukan, yang umumnya menghasilkan sumber tegangan DC, sehingga sumber tersebut dapat diintegrasikan di grid atau jala-jala AC suatu sistem tenaga listrik. Aplikasi penting lain dari inverter 3-fasa adalah untuk mengendalikan motor listrik 3-fasa dan motor listrik DC tanpa sikat yang menggunakan komutator elektronik untuk menghasilkan tegangan AC dengan kecepatan perubahan atau frekuensi yang dapat diubah-ubah. Inverter 3-fasa jenis ini biasanya diintegrasikan dengan unit kendali elektronik, sehingga menghasilkan suatu sistem kendali kecepatan putar motor listrik atau lazim disebut sebagai sistem *variable frequency drive*) atau *variable speed drive*.

Ditinjau dari sisi jenis suplai dayanya, motor listrik dapat dibagi atas motor listrik arus searah (DC) dan motor listrik arus bolak-balik. Pada hakikatnya motor listrik membutuhkan arus bolak-balik untuk mengatur putarannya. Motor DC misalnya membutuhkan sebuah sikat atau komutator untuk memutar atau membolakbalikkan arus listrik yang mengalir pada belitan rotornya. Jika hal tersebut tidak dilakukan, maka motor listrik DC tidak dapat berputar. Oleh karena sikat memiliki kekurangan di antaranya potensi munculnya percikan api dan keterkikisan akibat gesekan pada sambungan belitan rotor yang berputar dengan belitan suplai daya listrik DC-nya, maka komutator elektronik diperkenalkan. Komutator elektronik ini isinya tidak lain adalah inverter 3-fasa.

## 6.3 Soal-soal Teori Dasar



Sebelum memulai praktikum, praktikan/mahasiswa perlu memahami dan menjelaskan teori-teori dasar terkait praktikum yang akan dijalakankan. Di bawah ini adalah pertanyaan-pertanyaan yang wajib dijawab oleh mahasiswa sebelum memulai praktikum. Siapkan lembaran khusus untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan tersebut.

1. Sebutkan jenis-jenis motor listrik yang Anda kenal, dan buatlah di-

agram kategorinya atau klasifikasinya untuk menguraikan jawaban Anda!

2. Ditinjau dari bentuk susunan belitan stator dan rotornya atau dari sisi belitan eksitasinya, sebutkanlah jenis-jenis motor listrik DC!
3. Jelaskan perbedaan antara motor serempak dan motor tidak serempak! Sebutkan dan jelaskan fenomena utama yang membedakannya!

## 6.4 Persiapan Alat dan Bahan

Sebelum memulai praktikum, praktikan/mahasiswa perlu mempersiapkan beberapa peralatan ukur dan bahan-bahan praktikum. Alat dan bahan yang perlu disiapkan adalah sebagai berikut:



1. Komputer dekstop/laptop dengan program SPICE yang sudah terinstall di dalamnya.
2. Mikrokontroler kit yang berfungsi untuk membangkitkan sinyal pulsa.
3. Osiloskop analog/digital untuk mengukur sinyal-sinyal analog dan digital.
4. Perangkat Suplai Daya Listrik (*Power Supply*).
5. Komponen-komponen resistor, kapasitor, induktor, mikrokontroler, optocoupler TLP250, MOSFET IRFP460 atau MOSFET IRF150, Power Diode IN4004 (rating di atas 230V), MOSFET Driver IR2110, dsb.

## 6.5 Pelaksanaan

Setelah mempersiapkan alat-alat dan bahan-bahan praktikum, selanjutnya praktikan/mahasiswa akan melaksanakan tahapan praktikum yang akan diuraikan pada sub-sub bagian berikut ini.



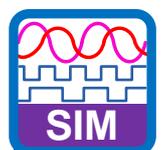
### 6.5.1 Pemrograman SPICE

Pada bagian ini praktikan/mahasiswa akan menuliskan program SPICE untuk beberapa rangkaian elektronika daya yang akan dipelajari.



### 6.5.2 Hasil Simulasi dan Analisis

Setelah menuliskan program SPICE, praktikan/mahasiswa akan menganalisis hasil simulasi SPICE dari rangkaian-rangkaian elektronika daya tersebut.



### **6.5.3 Perancangan dan Pengujian Alat**



Pada bagian ini praktikan/mahasiswa akan mendesain atau menseptup atau menyusun rangkaian elektronika daya yang akan dipelajari. Setelah itu rangkaian tersebut akan diuji dengan cara mengukur parameter-parameter rangkaian.

## **6.6 Rangkuman**



Setelah menjalani praktikum, praktikum/mahasiswa wajib merangkum beberapa hal dan melaporkan secara umum hasil pelaksanaan praktikum. Adapun hal-hal yang perlu dirangkum adalah sebagai berikut:

# MODUL 7

## Inverter Tiga-Fasa Terkoneksi Grid

### Daftar Isi

---

<b>7.1</b>	<b>Tujuan dan sasaran . . . . .</b>	<b>53</b>
<b>7.2</b>	<b>Landasan Pemahaman . . . . .</b>	<b>54</b>
<b>7.3</b>	<b>Soal-soal Teori Dasar . . . . .</b>	<b>54</b>
<b>7.4</b>	<b>Persiapan Alat dan Bahan . . . . .</b>	<b>54</b>
<b>7.5</b>	<b>Pelaksanaan . . . . .</b>	<b>54</b>
7.5.1	Pemrograman SPICE . . . . .	54
7.5.2	Hasil Simulasi dan Analisis . . . . .	54
7.5.3	Perancangan dan Pengujian Alat . . . . .	55
<b>7.6</b>	<b>Rangkuman . . . . .</b>	<b>55</b>

---

### 7.1 Tujuan dan sasaran

Tujuan dan sasaran yang ingin dicapai setelah melaksanakan praktikum pada modul ini antara lain adalah:



1. Praktikan/mahasiswa mampu menjelaskan ruang aplikasi dan cara menerapkan inverter DC-AC tiga-fasa dalam sistem grid AC dan sistem penggerak.
2. Praktikan/mahasiswa mampu memahami dan menjelaskan prinsip kerja inverter DC-AC tiga-fasa.

## 7.2 Landasan Pemahaman



Sebelum memulai praktikum, praktikan/mahasiswa perlu memiliki landasan pemahaman yang baik atau teori-toeri dasar terkait dengan topik yang akan dipraktikumkan. Mahasiswa juga dituntut untuk aktif menggali informasi atau pengetahuan mengenai topik praktikum terkait, sehingga mampu menjawab pertanyaan-pertanyaan mendasar yang diberikan pada sub-bab selanjutnya.

Ratings of Power Diode Voltage Rating: upto 4000 V Current Rating: upto 3500 A Upper Frequency: 1 kHz ON State Voltage Drop: nearly 1 V

## 7.3 Soal-soal Teori Dasar



Sebelum memulai praktikum, praktikan/mahasiswa perlu memahami dan menjelaskan teori-teori dasar terkait praktikum yang akan dijalankan. Di bawah ini adalah pertanyaan-pertanyaan yang wajib dijawab oleh mahasiswa sebelum memulai praktikum. Siapkan lembaran khusus untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan tersebut.

## 7.4 Persiapan Alat dan Bahan



Sebelum memulai praktikum, praktikan/mahasiswa perlu mempersiapkan beberapa peralatan ukur dan bahan-bahan praktikum. Alat dan bahan yang perlu disiapkan adalah sebagai berikut:

## 7.5 Pelaksanaan

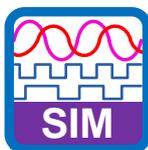


Setelah mempersiapkan alat-alat dan bahan-bahan praktikum, selanjutnya praktikan/mahasiswa akan melaksanakan tahapan praktikum yang akan diuraikan pada sub-sub bagian berikut ini.



### 7.5.1 Pemrograman SPICE

Pada bagian ini praktikan/mahasiswa akan menuliskan program SPICE untuk beberapa rangkaian elektronika daya yang akan dipelajari.



### 7.5.2 Hasil Simulasi dan Analisis

Setelah menuliskan program SPICE, praktikan/mahasiswa akan menganalisis hasil simulasi SPICE dari rangkaian-rangkaian elektronika daya tersebut.

### 7.5.3 Perancangan dan Pengujian Alat

Pada bagian ini praktikan/mahasiswa akan mendesain atau menseptup atau menyusun rangkaian elektronika daya yang akan dipelajari. Setelah itu rangkaian tersebut akan diuji dengan cara mengukur parameter-parameter rangkaian.



## 7.6 Rangkuman

Setelah menjalani praktikum, praktikum/mahasiswa wajib merangkum beberapa hal dan melaporkan secara umum hasil pelaksanaan praktikum. Adapun hal-hal yang perlu dirangkum adalah sebagai berikut:





# MODUL 8

## Pengisi Baterai Listrik

### Daftar Isi

---

8.1 Tujuan dan sasaran . . . . .	57
8.2 Landasan Pemahaman . . . . .	58
8.3 Soal-soal Teori Dasar . . . . .	58
8.4 Persiapan Alat dan Bahan . . . . .	58
8.5 Pelaksanaan . . . . .	58
8.5.1 Pemrograman SPICE . . . . .	58
8.5.2 Hasil Simulasi dan Analisis . . . . .	58
8.5.3 Perancangan dan Pengujian Alat . . . . .	59
8.6 Rangkuman . . . . .	59

---

### 8.1 Tujuan dan sasaran

Tujuan dan sasaran yang ingin dicapai setelah melaksanakan praktikum pada modul ini antara lain adalah:



1. Praktikan/mahasiswa mampu mengenal dan memahami fungsi dari piranti-piranti dan komponen-komponen penting yang digunakan dalam rangkaian elektronika daya.
2. Praktikan/mahasiswa mampu menjelaskan prinsip kerja dari piranti-piranti dan komponen-komponen penting yang digunakan dalam rangkaian elektronika daya.

## 8.2 Landasan Pemahaman



Sebelum memulai praktikum, praktikan/mahasiswa perlu memiliki landasan pemahaman yang baik atau teori-teori dasar terkait dengan topik yang akan dipraktikkan. Mahasiswa juga dituntut untuk aktif menggali informasi atau pengetahuan mengenai topik praktikum terkait, sehingga mampu menjawab pertanyaan-pertanyaan mendasar yang diberikan pada sub-bab selanjutnya.

Ratings of Power Diode Voltage Rating: upto 4000 V Current Rating: upto 3500 A Upper Frequency: 1 kHz ON State Voltage Drop: nearly 1 V

## 8.3 Soal-soal Teori Dasar



Sebelum memulai praktikum, praktikan/mahasiswa perlu memahami dan menjelaskan teori-teori dasar terkait praktikum yang akan dijalankan. Di bawah ini adalah pertanyaan-pertanyaan yang wajib dijawab oleh mahasiswa sebelum memulai praktikum. Siapkan lembaran khusus untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan tersebut.

## 8.4 Persiapan Alat dan Bahan



Sebelum memulai praktikum, praktikan/mahasiswa perlu mempersiapkan beberapa peralatan ukur dan bahan-bahan praktikum. Alat dan bahan yang perlu disiapkan adalah sebagai berikut:

## 8.5 Pelaksanaan



Setelah mempersiapkan alat-alat dan bahan-bahan praktikum, selanjutnya praktikan/mahasiswa akan melaksanakan tahapan praktikum yang akan diuraikan pada sub-sub bagian berikut ini.



### 8.5.1 Pemrograman SPICE

Pada bagian ini praktikan/mahasiswa akan menuliskan program SPICE untuk beberapa rangkaian elektronika daya yang akan dipelajari.

### 8.5.2 Hasil Simulasi dan Analisis



Setelah menuliskan program SPICE, praktikan/mahasiswa akan menganalisis hasil simulasi SPICE dari rangkaian-rangkaian elektronika daya tersebut.

### 8.5.3 Perancangan dan Pengujian Alat

Pada bagian ini praktikan/mahasiswa akan mendesain atau menseptup atau menyusun rangkaian elektronika daya yang akan dipelajari. Setelah itu rangkaian tersebut akan diuji dengan cara mengukur parameter-parameter rangkaian.



## 8.6 Rangkuman

Setelah menjalani praktikum, praktikum/mahasiswa wajib merangkum beberapa hal dan melaporkan secara umum hasil pelaksanaan praktikum. Adapun hal-hal yang perlu dirangkum adalah sebagai berikut:





# MODUL 9

## Aplikasi Elektronika Daya pada Sistem Transmisi AC Fleksibel (FACTS)

### Daftar Isi

9.1	Tujuan dan sasaran . . . . .	61
9.2	Landasan Pemahaman . . . . .	62
9.3	Soal-soal Teori Dasar . . . . .	62
9.4	Persiapan Alat dan Bahan . . . . .	62
9.5	Pelaksanaan . . . . .	62
9.5.1	Pemrograman SPICE . . . . .	62
9.5.2	Hasil Simulasi dan Analisis . . . . .	62
9.5.3	Perancangan dan Pengujian Alat . . . . .	63
9.6	Rangkuman . . . . .	63

### 9.1 Tujuan dan sasaran

Tujuan dan sasaran yang ingin dicapai setelah melaksanakan praktikum pada modul ini antara lain adalah:

1. Praktikan/mahasiswa mampu mengenal dan memahami fungsi dari piranti-piranti dan komponen-komponen penting yang digunakan dalam rangkaian elektronika daya.
2. Praktikan/mahasiswa mampu menjelaskan prinsip kerja dari piranti-piranti dan komponen-komponen penting yang digunakan dalam rangkaian elektronika daya.



## 9.2 Landasan Pemahaman



Sebelum memulai praktikum, praktikan/mahasiswa perlu memiliki landasan pemahaman yang baik atau teori-teori dasar terkait dengan topik yang akan dipraktikkan. Mahasiswa juga dituntut untuk aktif menggali informasi atau pengetahuan mengenai topik praktikum terkait, sehingga mampu menjawab pertanyaan-pertanyaan mendasar yang diberikan pada sub-bab selanjutnya.

Ratings of Power Diode Voltage Rating: upto 4000 V Current Rating: upto 3500 A Upper Frequency: 1 kHz ON State Voltage Drop: nearly 1 V

## 9.3 Soal-soal Teori Dasar



Sebelum memulai praktikum, praktikan/mahasiswa perlu memahami dan menjelaskan teori-teori dasar terkait praktikum yang akan dijalankan. Di bawah ini adalah pertanyaan-pertanyaan yang wajib dijawab oleh mahasiswa sebelum memulai praktikum. Siapkan lembaran khusus untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan tersebut.

## 9.4 Persiapan Alat dan Bahan



Sebelum memulai praktikum, praktikan/mahasiswa perlu mempersiapkan beberapa peralatan ukur dan bahan-bahan praktikum. Alat dan bahan yang perlu disiapkan adalah sebagai berikut:

## 9.5 Pelaksanaan



Setelah mempersiapkan alat-alat dan bahan-bahan praktikum, selanjutnya praktikan/mahasiswa akan melaksanakan tahapan praktikum yang akan diuraikan pada sub-sub bagian berikut ini.



### 9.5.1 Pemrograman SPICE

Pada bagian ini praktikan/mahasiswa akan menuliskan program SPICE untuk beberapa rangkaian elektronika daya yang akan dipelajari.



### 9.5.2 Hasil Simulasi dan Analisis

Setelah menuliskan program SPICE, praktikan/mahasiswa akan menganalisis hasil simulasi SPICE dari rangkaian-rangkaian elektronika daya tersebut.

### 9.5.3 Perancangan dan Pengujian Alat

Pada bagian ini praktikan/mahasiswa akan mendesain atau menseptup atau menyusun rangkaian elektronika daya yang akan dipelajari. Setelah itu rangkaian tersebut akan diuji dengan cara mengukur parameter-parameter rangkaian.



## 9.6 Rangkuman

Setelah menjalani praktikum, praktikum/mahasiswa wajib merangkum beberapa hal dan melaporkan secara umum hasil pelaksanaan praktikum. Adapun hal-hal yang perlu dirangkum adalah sebagai berikut:





# MODUL 10

## Aplikasi Elektronika Daya pada Sistem Energi Terbarukan

### Daftar Isi

---

10.1 Tujuan dan sasaran . . . . .	65
10.2 Landasan Pemahaman . . . . .	66
10.3 Soal-soal Teori Dasar . . . . .	66
10.4 Persiapan Alat dan Bahan . . . . .	66
10.5 Pelaksanaan . . . . .	66
10.5.1 Pemrograman SPICE . . . . .	66
10.5.2 Hasil Simulasi dan Analisis . . . . .	67
10.5.3 Perancangan dan Pengujian Alat . . . . .	67
10.6 Rangkuman . . . . .	67

---

### 10.1 Tujuan dan sasaran

Tujuan dan sasaran yang ingin dicapai setelah melaksanakan praktikum pada modul ini antara lain adalah:



1. Praktikan/mahasiswa mampu memahami dan menjelaskan peranan penting rangkaian elektronika daya pada sistem pembangkit listrik berbasis energi baru dan terbarukan.
2. Praktikan/mahasiswa mampu memahami dan menjelaskan prinsip kerja unit penjejak titik daya maksimum atau unit *maximum power point*

*tracing* (MPPT), dan peranannya dalam sistem pembangkit listrik berbasis sumber-sumber energi terbarukan.

## 10.2 Landasan Pemahaman



Sebelum memulai praktikum, praktikan/mahasiswa perlu memiliki landasan pemahaman yang baik atau teori-teori dasar terkait dengan topik yang akan dipraktikumkan. Mahasiswa juga dituntut untuk aktif menggali informasi atau pengetahuan mengenai topik praktikum terkait, sehingga mampu menjawab pertanyaan-pertanyaan mendasar yang diberikan pada sub-bab selanjutnya.

Ratings of Power Diode Voltage Rating: upto 4000 V Current Rating: upto 3500 A Upper Frequency: 1 kHz ON State Voltage Drop: nearly 1 V

## 10.3 Soal-soal Teori Dasar



Sebelum memulai praktikum, praktikan/mahasiswa perlu memahami dan menjelaskan teori-teori dasar terkait praktikum yang akan dijalankan. Di bawah ini adalah pertanyaan-pertanyaan yang wajib dijawab oleh mahasiswa sebelum memulai praktikum. Siapkan lembaran khusus untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan tersebut.

## 10.4 Persiapan Alat dan Bahan



Sebelum memulai praktikum, praktikan/mahasiswa perlu mempersiapkan beberapa peralatan ukur dan bahan-bahan praktikum. Alat dan bahan yang perlu disiapkan adalah sebagai berikut:

## 10.5 Pelaksanaan



Setelah mempersiapkan alat-alat dan bahan-bahan praktikum, selanjutnya praktikan/mahasiswa akan melaksanakan tahapan praktikum yang akan diuraikan pada sub-sub bagian berikut ini.

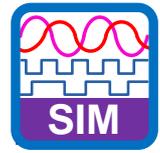


### 10.5.1 Pemrograman SPICE

Pada bagian ini praktikan/mahasiswa akan menuliskan program SPICE untuk beberapa rangkaian elektronika daya yang akan dipelajari.

### 10.5.2 Hasil Simulasi dan Analisis

Setelah menuliskan program SPICE, praktikan/mahasiswa akan menganalisis hasil simulasi SPICE dari rangkaian-rangkaian elektronika daya tersebut.



### 10.5.3 Perancangan dan Pengujian Alat

Pada bagian ini praktikan/mahasiswa akan mendesain atau menseptup atau menyusun rangkaian elektronika daya yang akan dipelajari. Setelah itu rangkaian tersebut akan diuji dengan cara mengukur parameter-parameter rangkaian.



## 10.6 Rangkuman

Setelah menjalani praktikum, praktikum/mahasiswa wajib merangkum beberapa hal dan melaporkan secara umum hasil pelaksanaan praktikum. Adapun hal-hal yang perlu dirangkum adalah sebagai berikut:



