

## BAB III

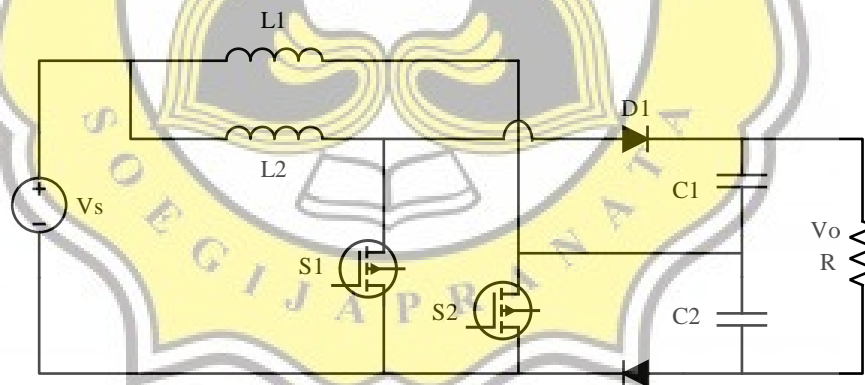
### MODE OPERASI DAN SISTEM KENDALI SERTA RANGKAIAN PEMBENTUK *DC-DC BOOST CONVERTER* TIPE *VOLTAGE DOUBLER*

#### 3.1. Pendahuluan

Pada bab ini dibahas mengenai topologi, mode operasi, sistem kendali, algoritma program, dan rangkaian pembentuk dari *DC-DC boost converter* tipe *Voltage Doubler*.

#### 3.2. Topologi Rangkaian *DC-DC boost converter* tipe *Voltage Doubler*

Topologi Rangkaian *DC-DC boost converter* tipe *Voltage Doubler* secara prinsip merupakan gabungan dari dua buah *DC-DC boost converter* konvensional. Topologi rangkaian ini terdiri dari satu buah sumber tegangan, dua buah induktor, dua buah saklar aktif, dua buah dioda, dua buah kapasitor, dan satu buah beban resistor. Topologi Rangkaian *DC-DC boost converter* tipe *Voltage Doubler* dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Topologi rangkaian *DC-DC boost converter* tipe *Voltage Doubler*

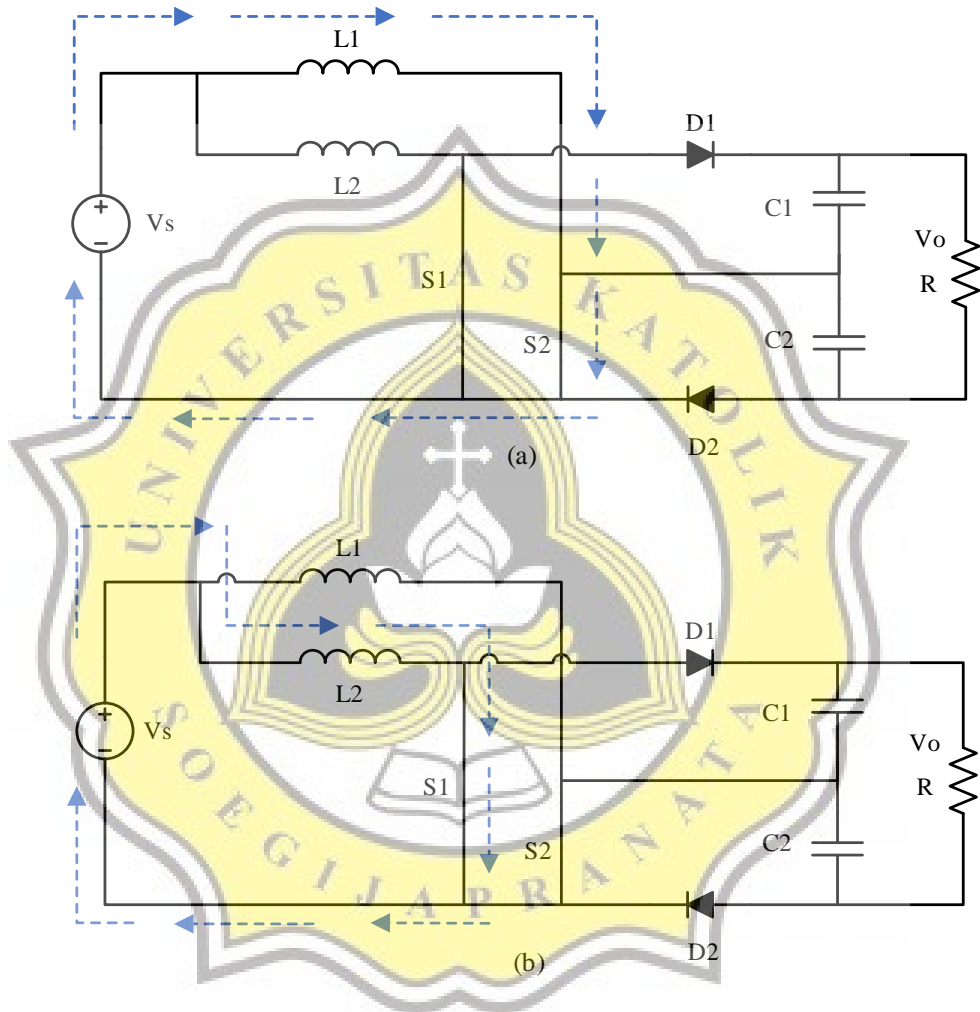
#### 3.3. Mode Operasi

Topologi rangkaian *DC-DC boost converter* tipe *Voltage Doubler* ini terbagi menjadi 4 mode operasi. Mode operasi ini dinamakan mode operasi 1 - 4. Pada mode operasi 1, kedua saklar terkonduksi, sehingga arus mengalir dari sumber DC menuju induktor  $L_1$  dan  $L_2$ , lalu kembali ke sumber. Mode operasi

1 dapat dilihat pada Gambar 3.2. Tegangan pada induktor  $V_{L1}$  dan  $V_{L2}$  dapat dinyatakan dengan :

$$V_{L1} = L \frac{di_{L1}}{dt} = V_s \quad (5)$$

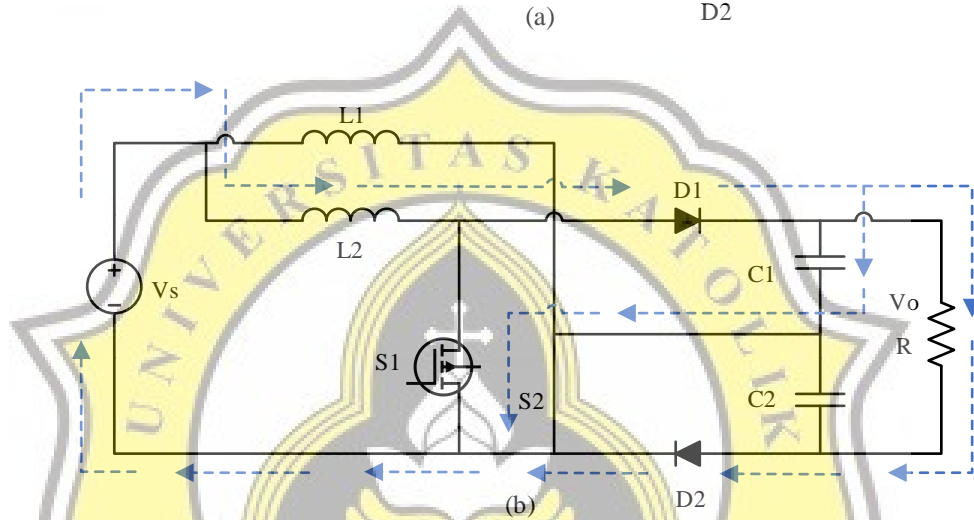
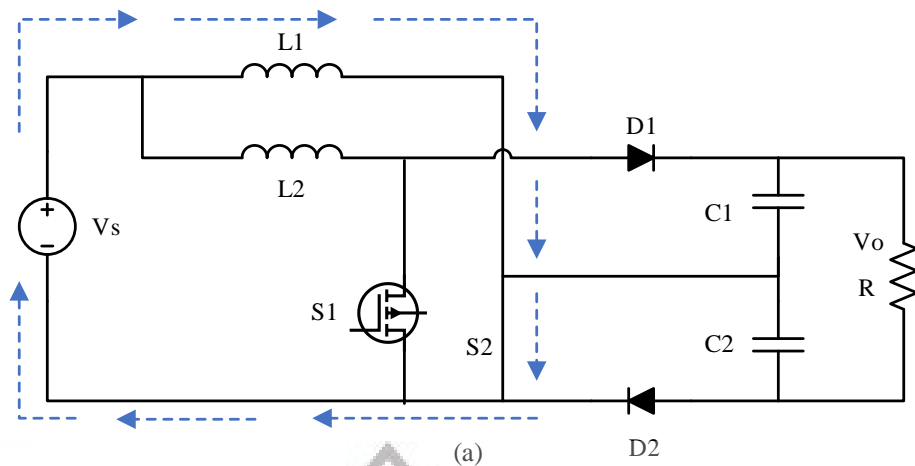
$$V_{L2} = L \frac{di_{L2}}{dt} = V_s \quad (6)$$



**Gambar 3.2. Mode operasi 1**

(a) saat saklar S2 konduksi (b) saat saklar S1 konduksi

Pada mode operasi 2, saklar S2 saja yang terkonduksi, sehingga arus menuju induktor L1 lalu berputar kembali ke sumber. Saklar S1 tidak terkonduksi sehingga menyebabkan arus mengalir dari sumber ke induktor L2, kemudian melewati dioda D1, dan menuju ke beban, lalu kembali ke sumber melalui D2. Mode operasi 2 ini dapat dilihat pada Gambar 3.3.



**Gambar 3.3. Mode operasi 2**

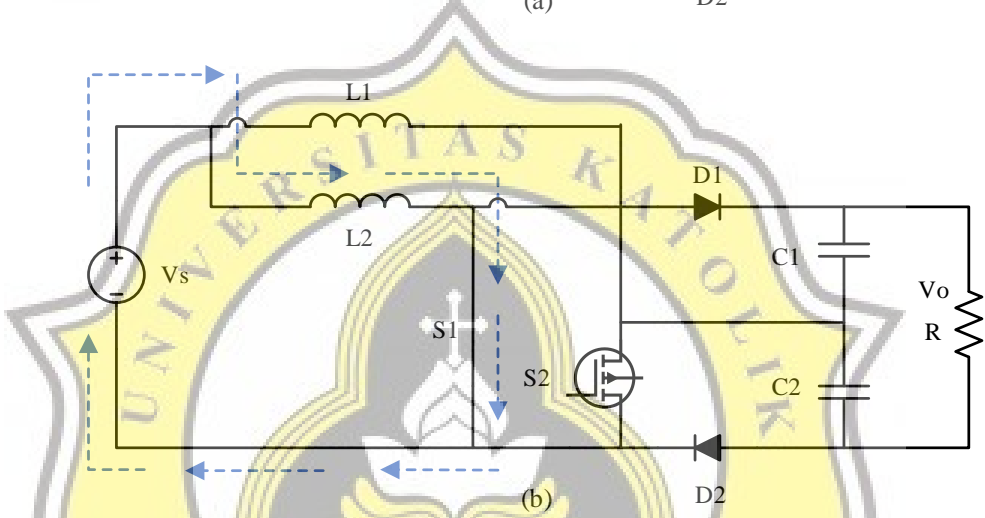
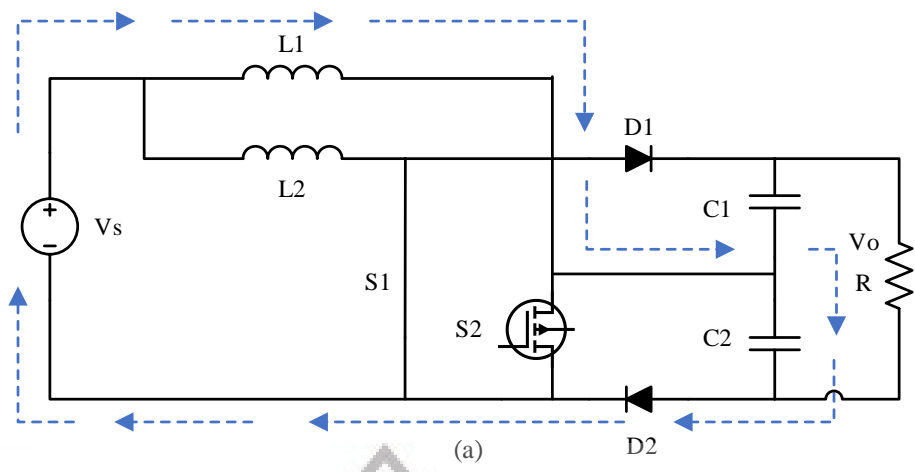
(a) saat saklar S2 konduksi (b) saat saklar S1 tidak konduksi

Tegangan pada induktor  $V_{L1}$  dan  $V_{L2}$  dapat dinyatakan dengan :

$$V_{L1} = L \frac{di_{L1}}{dt} = V_s \quad (7)$$

$$V_{L2} = L \frac{di_{L2}}{dt} = V_s - V_{C1} \quad (8)$$

Mode operasi 3 merupakan kebalikan dari mode operasi 2, dimana saklar S1 terkonduksi dan saklar S2 tidak terkonduksi. Saat saklar S1 terkonduksi, arus berputar melalui induktor L2 lalu kembali ke sumber. Sedangkan saat saklar S2 tidak terkonduksi, arus mengalir dari sumber ke induktor L1, dan menuju ke beban, lalu kembali lagi ke sumber melalui dioda D2. Mode operasi 3 dapat dilihat pada Gambar 3.4.



**Gambar 3.4. Mode operasi 3**

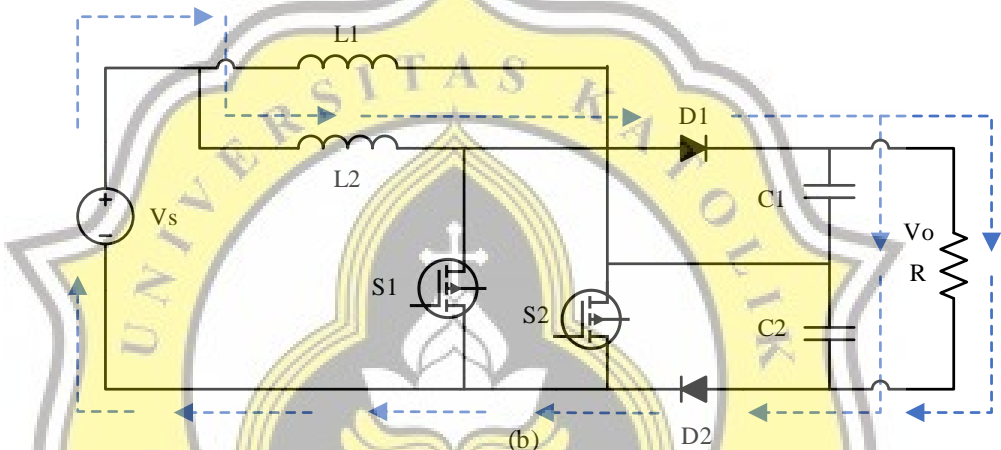
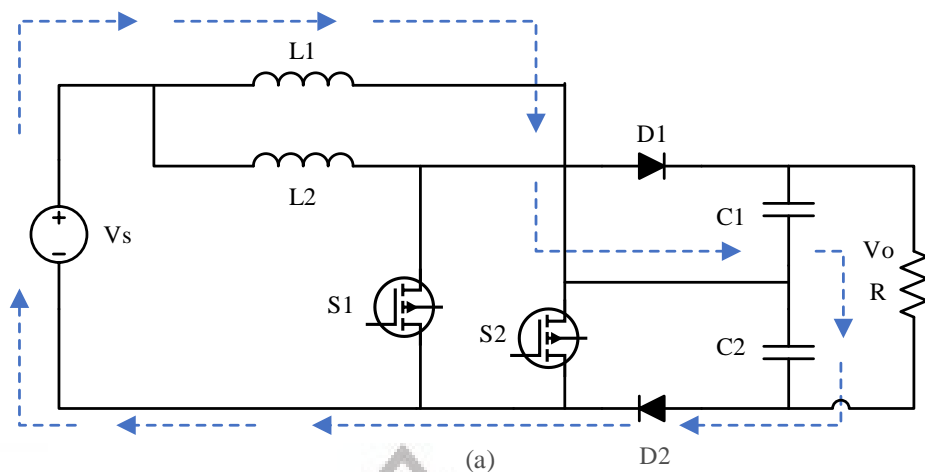
(a) saat saklar S2 tidak konduksi (b) saat saklar S1 konduksi

Tegangan pada induktor  $V_{L1}$  dan  $V_{L2}$  dapat dinyatakan dengan :

$$V_{L1} = L \frac{di_{L1}}{dt} = V_s - V_{C2} \tag{9}$$

$$V_{L2} = L \frac{di_{L2}}{dt} = V_s \tag{10}$$

Pada mode operasi 4, kedua saklar tidak terkonduksi. Hal ini menyebabkan arus mengalir dari sumber menuju induktor L1, menuju ke beban, dan kembali ke sumber melalui dioda D2. Arus juga mengalir dari sumber ke induktor L2, kemudian melewati dioda D1, menuju ke beban, lalu kembali ke sumber melalui D2. Mode operasi 4 dapat dilihat pada Gambar 3.5.



**Gambar 3.5. Mode operasi 4**  
**(a) saat saklar S2 tidak konduksi (b) saat saklar S1 tidak konduksi**

Tegangan pada induktor  $V_{L1}$  dan  $V_{L2}$  dapat dinyatakan dengan :

$$V_{L1} = L \frac{di_{L1}}{dt} = V_s - V_{C2} \tag{11}$$

$$V_{L2} = L \frac{di_{L2}}{dt} = V_s - V_{C1} \tag{12}$$

Tegangan keluaran  $V_o$  dapat dinyatakan dengan :

$$V_o = V_{C1} + V_{C2} \tag{13}$$

Sedangkan tegangan pada kapasitor  $V_{C1}$  dan  $V_{C2}$  dapat dinyatakan dengan :

$$V_{C1} = \frac{1-D_{S2}}{2-D_{S1}-D_{S2}} V_o \tag{14}$$

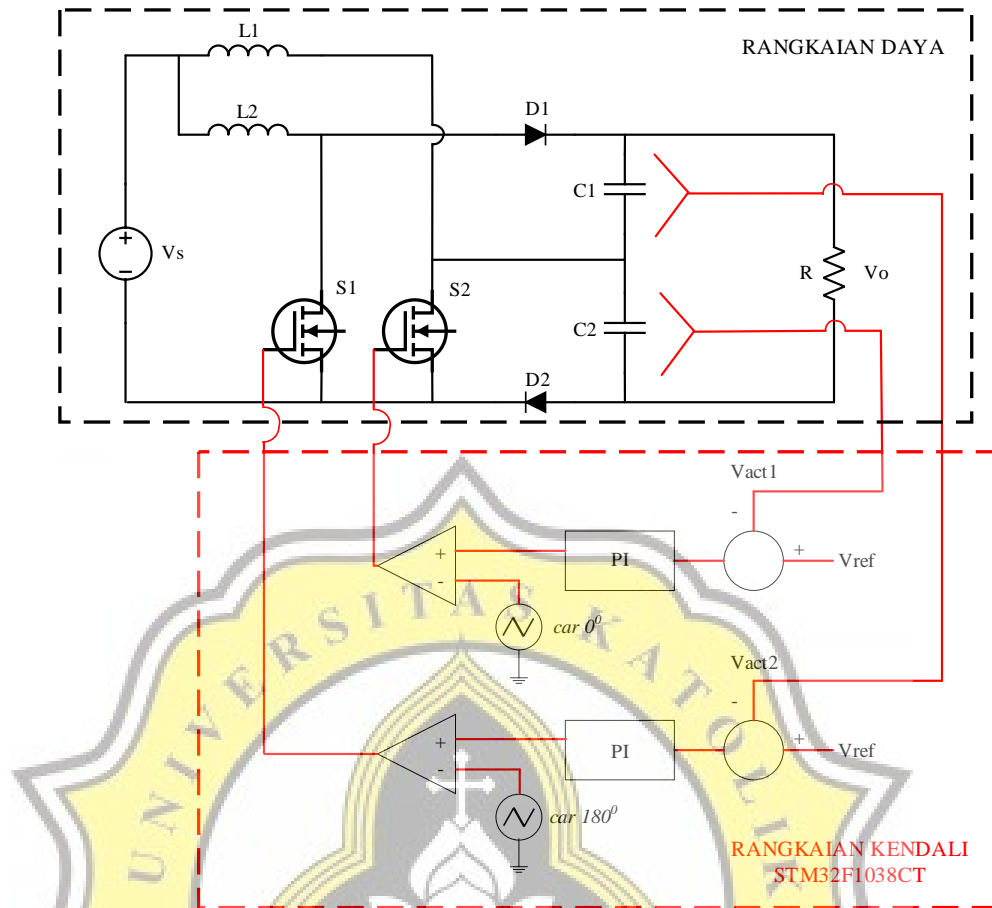
$$V_{C2} = \frac{1-D_{S1}}{2-D_{S1}-D_{S2}} V_o \tag{15}$$

dimana  $D_{S1}$  dan  $D_{S2}$  adalah *duty cycle* yang digunakan pada *gate* saklar S1 dan S2. Jadi, rasio perubahan tegangan M, dapat dinyatakan dengan :

$$M = \frac{V_o}{V_s} \quad (16)$$

### 3.4. Blok Diagram Rangkaian Kendali

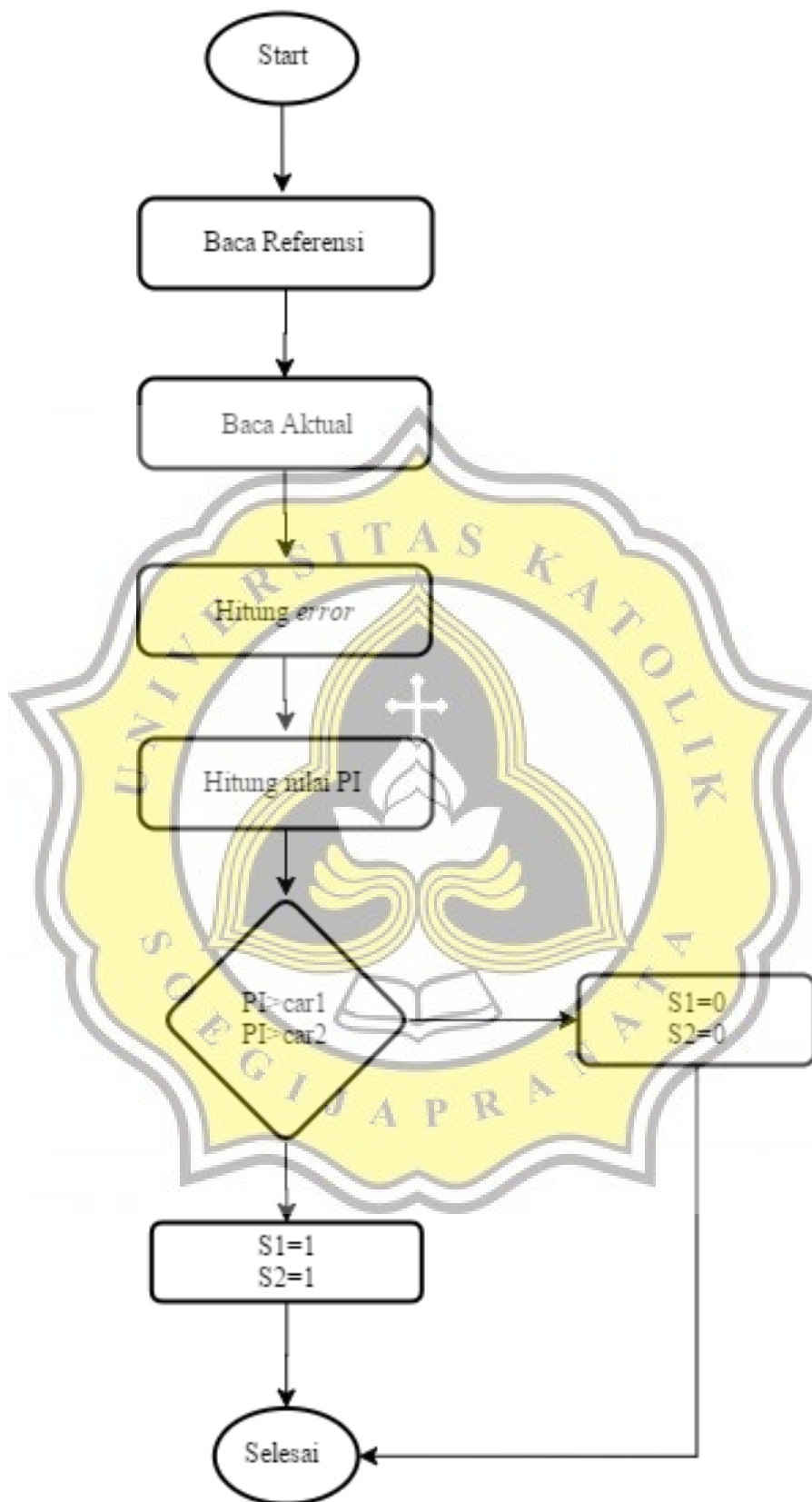
Untuk mengendalikan tegangan keluaran pada rangkaian *DC-DC boost converter* tipe *Voltage Doubler* ditambahkan rangkaian umpan balik. Pada rangkaian umpan balik, tegangan referensi dikurangi dengan tegangan pada kapasitor (tegangan aktual) sehingga menghasilkan *error*. *Error* kemudian dikalikan dengan nilai PI [29]. Hasil perkalian tersebut dikomparasi dengan sinyal pembawa sehingga menghasilkan sinyal modulasi lebar pulsa. Sinyal tersebut yang digunakan untuk mengendalikan saklar pada rangkaian daya. Blok diagram sistem kendali *DC-DC boost converter* tipe *Voltage Doubler* dapat dilihat pada Gambar 3.6 Dimana  $V_{ref}$  adalah tegangan referensi,  $V_{act}$  adalah tegangan aktual, kendali yang digunakan yaitu tipe PI, dan sinyal pembawa (*car*) tergeser sebesar  $180^\circ$ .



Gambar 3.6. Blok diagram sistem kendali DC-DC boost converter tipe Voltage Doubler

### 3.5. Mikrokontrol dan Algoritma Program

Berdasarkan Gambar 3.6 dilakukan suatu pemrograman perangkat lunak dengan menggunakan *Arduino IDE*. Gambar 3.7 merupakan diagram alir pemrograman *DC-DC boost converter* tipe *Voltage Doubler*. Blok diagram sistem kendali tipe PI diimplementasikan pada mikrokontrol STM32F1038CT.



Gambar 3.7. Diagram Alir Pemrograman DC-DC Boost Converter tipe Voltage Doubler



Dimulai dengan pembacaan referensi dan aktual oleh mikrokontrol, lalu penghitungan *error* dengan mengurangkan tegangan referensi dan tegangan aktual. Setelah itu nilai *error* akan dikalikan dengan hasil perhitungan nilai PI. Nilai PI kemudian dikomparasi dengan sinyal pembawa (*car*) dimana *car2* merupakan sinyal pembawa yang tergeser sebesar  $180^{\circ}$ . Jika nilai PI lebih besar dari *car1* maka saklar S1 akan terkonduksi, dan jika nilai PI lebih besar dari *car2* maka saklar S2 akan terkonduksi. Jika kondisi tersebut tidak terpenuhi, baik saklar S1 maupun S2 tidak terkonduksi. Implementasi diagram alir pada Gambar 3.7 sebagai berikut :

```
HardwareTimer timer(1);
```

```
void setup() {
  pinMode(PA0,INPUT);      -> tegangan referensi
  pinMode(PA1,INPUT);      -> tegangan aktual 1
  pinMode(PA2,INPUT);      -> tegangan aktual 2
  pinMode(PB0,OUTPUT);     -> sinyal PWM saklar S1
  pinMode(PB10,OUTPUT);    -> sinyal PWM saklar S2
  Timer1.setMode(TIMER_CH1,TIMER_OUTPUT_COMPARE);
  Timer1.pause();
  Timer1.setCount(0);
  Timer1.setPrescaleFactor(8);
  Timer1.setOverflow(4095);
  Timer1.setCompare(TIMER_CH1,4095);
  Timer1.attachCompareInterrupt(sampling);
  Timer1.refresh();
  Timer1.resume();
}
```

Inisialisasi Port

Inisialisasi Sinyal Carrier

```
float kp=0.75; -> nilai konstanta prporisional
float ki=0.005; -> waktu sampling
double e,car,car1,act,er,a,b,pi,act1,er1,c,d,pi1,er1,erl2,f,g;
```

Inisialisasi perhitungan nilai PI

```
void loop() {
  ->perhitungan nilai PI
  er=e-act;
  a=kp*er;
  b=ki*(er+erl1);
  pi=(a*b)+a;
  erl1=er;
  er1=e-act1;
  c=kp*er1;
  d=ki*(er1+erl2);
  pi1=(c*d)+c;
  erl2=er1;
```

Perhitungan nilai PI

```

car=map(Timer1.getCount(),0,4095,0,4095);
car1=map(Timer1.getCount(),0,4095,4095,0);
f=100;
g=100;

```

Batas sinyal *carrier* dan batas pensaklaran agar tidak *overlapping*

```

if(pi>car)
{
  if(car<f)
  {
    digitalWrite(PB0,LOW);
  }
  else
  {
    digitalWrite(PB0,HIGH);
  }
}
else
{
  digitalWrite(PB0,LOW);
}
if(pi1>car1)
{
  if(car1<g)
  {
    digitalWrite(PB10,LOW);
  }
  else
  {
    digitalWrite(PB10,HIGH);
  }
}
else
{
  digitalWrite(PB10,LOW);
}
}
}

```

Komparator nilai PI dengan sinyal *carrier*

```

void sampling(void) {
  e=analogRead(PA0);
  act=analogRead(PA1);
  act1=analogRead(PA2);
}

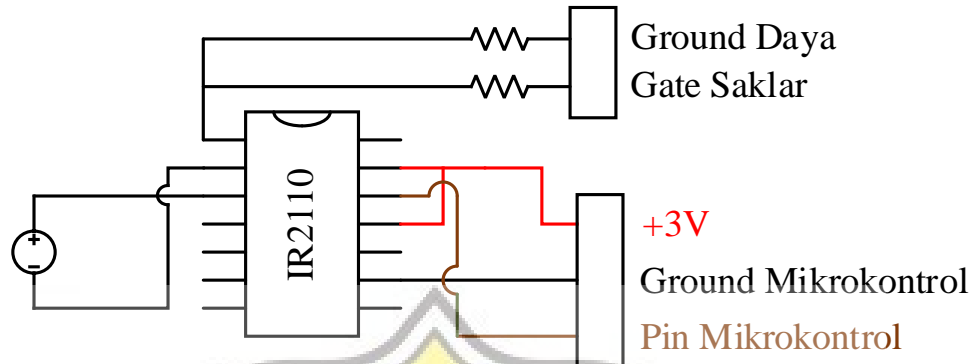
```

Pembacaan ADC

### 3.6. Rangkaian Driver DC-DC Boost Converter tipe Voltage Doubler

Pensaklaran pada *DC-DC boost converter* tipe *Voltage Doubler* dikendalikan menggunakan rangkaian *driver*. Rangkaian *driver* pada *DC-DC*

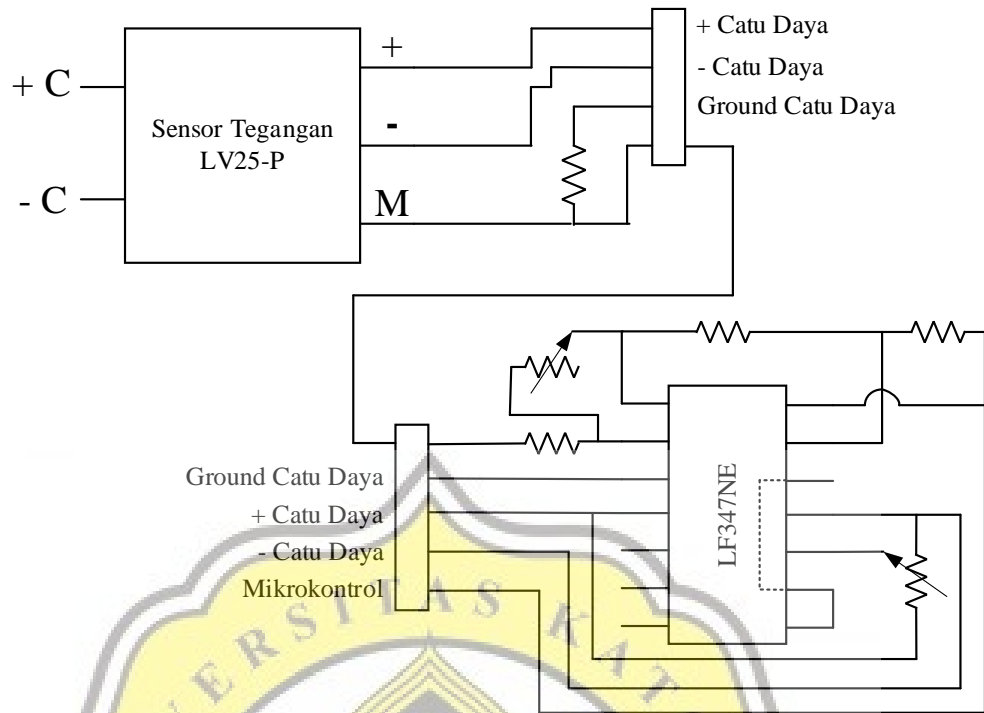
*boost converter* tipe *Voltage Doubler* menggunakan IC IR2110. Konfigurasi rangkaian *driver DC-DC boost converter* tipe *Voltage Doubler* ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8. Rangkaian driver DC-DC boost converter tipe Voltage Doubler

### 3.7. Rangkaian Sensor Tegangan LV25-P

Tegangan aktual adalah tegangan pada kapasitor yang diukur menggunakan sensor. Sensor yang digunakan untuk mengukur tegangan pada kapasitor adalah sensor tegangan LV25-P. Tegangan yang diukur oleh sensor tersebut kemudian akan digunakan sebagai tegangan aktual pada mikrokontrol. Tegangan maksimal pada mikrokontrol yang digunakan adalah 3,3V, sedangkan tegangan yang diukur lebih besar dari batas maksimal tegangan pada mikrokontrol. Rangkaian *op-amp* digunakan untuk mengatasi masalah tersebut.

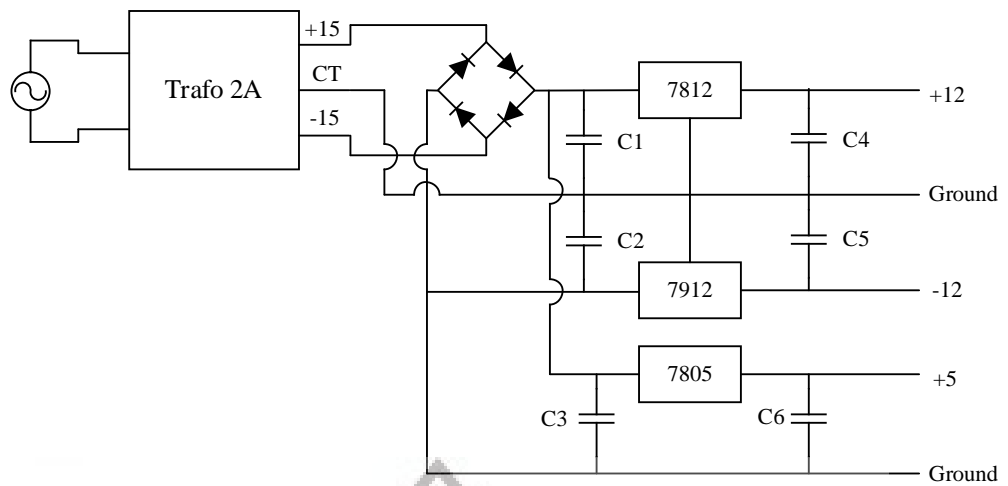


**Gambar 3.9. Integrasi Rangkaian Sensor dan Rangkaian Op-amp**

Rangkaian *op-amp* tersebut menggunakan IC LF347NE. Rangkaian *op-amp* kemudian diintegrasikan dengan rangkaian sensor sehingga tegangan yang masuk dibawah batas maksimal mikrokontrol tersebut. Integrasi rangkaian sensor dan rangkaian *op-amp* dapat dilihat pada Gambar 3.9.

### 3.8. Rangkaian Catu Daya

Rangkaian catu daya digunakan untuk memberikan tegangan keluaran DC +12V, -12V, dan +5V. Rangkaian ini digunakan untuk mengaktifkan sensor tegangan, IC *op-amp*, dan mikrokontrol. Rangkaian catu daya dapat dilihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10. Rangkaian Catu Daya

