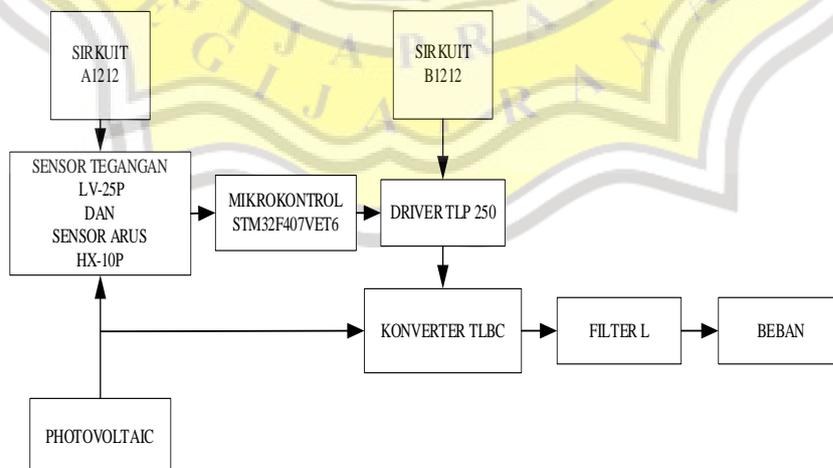


BAB III

DESAIN DAN IMPLEMENTASI

3.1 Pendahuluan

Strategi kendali dapat dibuktikan mampu bekerja melalui simulasi menggunakan perangkat lunak. Jika hasil simulasi sudah sesuai dengan yang diharapkan, maka selanjutnya dapat diimplementasikan pada suatu konverter selaku *hardware* yang telah dibuat sebagai bukti bahwa strategi kendali yang telah diusulkan benar – benar bekerja. Desain konverter disimulasikan menggunakan bantuan aplikasi perangkat lunak PSIM secara langsung dengan menggunakan parameter yang telah ditentukan pada simulasi dan implementasi *hardware*. Secara diagram blok pada desain pembuatan konverter yang merupakan sistem kerja *Three–Level Buck DC–DC Converter (TLBC)* pada implementasi *hardware*, dapat ditampilkan pada Gambar 3. 1 dan Tabel 3. 1 untuk nilai parameter.



Gambar 3. 1 Diagram blok *Three–Level Buck DC–DC Converter (TLBC)*

Tabel 3. 1 Parameter simulasi dan implementasi *hardware*

Nama	Jumlah
Photovoltaic	80 Wp dan 80 Wp x 2 (Seri)
<i>Irradiance</i>	500 W/m ² – 800 W/m ²
<i>Filter inductor</i>	2,2 mH
Capacitor C1, C2, C3	470 uF
Beban baterai	12 volt dan 12 volt x 2 (Seri)
Frekuensi pensaklaran	25 KHz

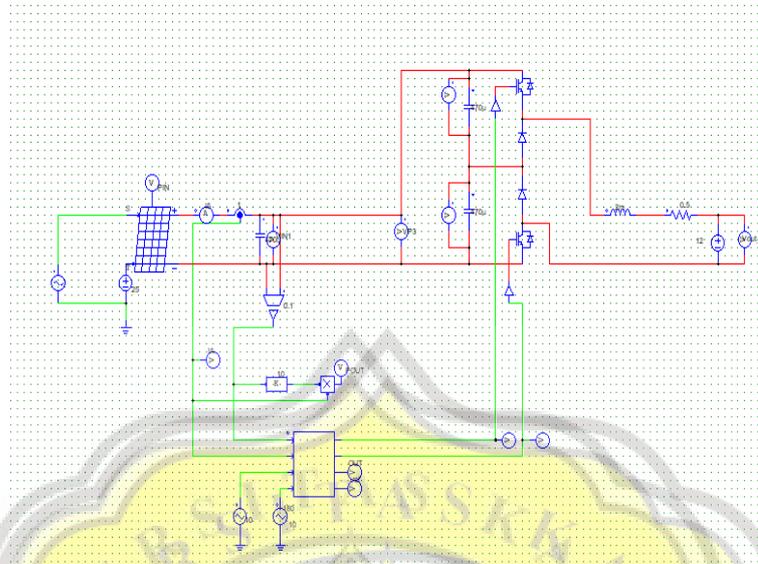
Kedua keterangan diatas digunakan sebagai acuan pada simulasi dan implementasi serta menjelaskan koneksi antar komponen pada rangkaian *Three-Level Buck DC-DC Converter* (TLBC). Berdasarkan implementasi *hardware*, konverter berfungsi untuk mengirimkan daya menuju beban baterai dengan nilai 12 volt maupun 24 volt secara konstan dan stabil yang tergantung pada jumlah PV. Terdapat 2 buah TLP250 sebagai *driver* MOSFET, yang artinya 1 buah TLP250 mengendalikan 1 buah MOSFET. *Driver* TLP250 membutuhkan daya yang terisolasi dengan *driver* TLP250 yang lain, sehingga daya yang disuplai berasal dari konverter tegangan terisolasi yaitu rangkaian B1212S.

Keluaran PV yang menjadi masukan konverter dihubungkan dengan sensor tegangan LV25-P yang terhubung secara paralel dan sensor arus HX10-P yang terhubung secara seri berfungsi membaca sinyal atau data tegangan dan arus aktual yang dihasilkan oleh PV, kemudian untuk keluaran konverter terdapat *filter* L yang berfungsi sebagai penyaring riak untuk menghasilkan riak yang kecil. Sensor tegangan dan sensor arus yang ada

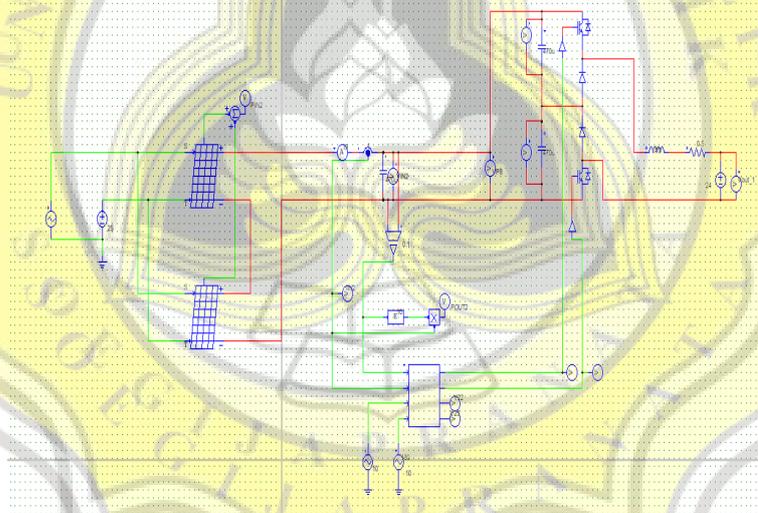
pada implementasi *hardware* juga bertujuan untuk mengisolasi antara mikrokontroler dengan titik pengukuran pada PV selaku sumber, sehingga dapat menghindari overshoot tegangan atau tegangan berlebih yang masuk ke mikrokontroler. STM32F407VET6 merupakan mikrokontroler yang digunakan sebagai sarana pengendali pada sistem *Three-Level Buck DC-DC Converter* (TLBC).

3.2 Simulasi Pada *Three-Level Buck DC-DC Converter*

Sistem pada *Three-Level Buck DC-DC Converter* (TLBC) yang terhubung dengan PV dengan menggunakan perangkat lunak PSIM. Tujuan pembuatan simulasi adalah sebagai gambaran untuk pembuatan hardware dan langkah awal sebelum mengimplementasikan sebuah *hardware* untuk meminimalisir kesalahan sistem kendali maupun koneksi pada sistem, kerusakan komponen, dan menganalisa sistem yang berfungsi sesuai yang diharapkan. Strategi kendali selaku sistem kendali yang digunakan dalam bentuk *C Block*. Pada simulasi, terdapat dua kondisi atau variasi untuk mengetahui apakah strategi kendali benar – benar berjalan sesuai yang diharapkan. Kondisi atau variasi yang pertama yaitu 1 buah PV dengan daya maksimal 80 WP dan 1 buah beban baterai 12 volt, kemudian yang kedua yaitu 2 buah PV dengan daya maksimal 80 WP yang dihubungkan secara seri dan 2 buah beban baterai 12 volt yang dihubungkan secara seri atau disebut beban baterai 24 volt. Kedua kondisi tersebut dapat ditampilkan pada simulasi seperti pada Gambar 3. 2 dan Gambar 3. 3.



Gambar 3. 2 Kondisi pertama



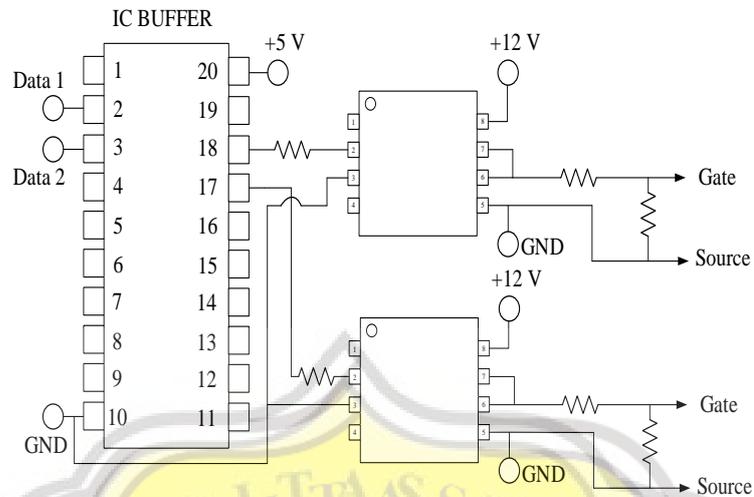
Gambar 3. 3 Kondisi kedua

Setelah mensimulasikan dan hasilnya sudah sesuai, maka selanjutnya adalah mendesain dapat mengimplementasikan dalam bentuk *hardware* dengan sistem kendali dibuat dalam bentuk digital untuk mempermudah pada implementasi.

3.3 Desain Rangkaian *Driver* TLP250

Optocoupler TLP250 merupakan komponen rangkaian *driver* untuk membantu proses pensaklaran pada saklar daya, sehingga dapat disebut dengan *driver* TLP250. Tujuan pembuatan pada rangkaian *driver* TLP250 adalah untuk menyesuaikan sistem operasi kerja pada saklar daya dengan menguatkan tegangan sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) menjadi lebih tinggi dibanding yang dihasilkan oleh mikrokontroler sendiri. Bagian MOSFET yaitu pada terminal atau disebut dengan pin *gate* membutuhkan tegangan dengan nilai tertentu untuk mengatur kondisi saklar daya. Pensaklaran kecepatan tinggi membutuhkan frekuensi yang tinggi untuk mempercepat proses pensaklaran.

Rangkaian *driver* TLP250 digunakan untuk menguatkan *gate* saklar daya dan sinyal keluaran tersebut terisolasi. Sinyal tersebut dapat terisolasi dengan baik dikarenakan sumber rangkaian B1212S sebagai sumber *driver*. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya bahwa terisolasi artinya 1 buah *driver* hanya berfungsi untuk mengoperasikan 1 buah saklar daya saja. Sehingga pada implementasi *hardware*, terdapat 2 buah TLP250 yang dibutuhkan dengan sumber rangkaian *driver* yang terhubung oleh rangkaian B1212S untuk mengoperasikan 2 buah saklar daya. Berikut merupakan skema rangkaian *driver* TLP250 yang sudah dibuat dan direalisasikan yang dapat ditampilkan pada Gambar 3. 4.



Gambar 3. 4 Skema rangkaian *driver* TLP250

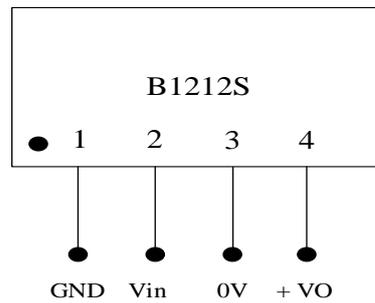
Data 1 dan 2 yang disebut dengan PWM 1 dan PWM 2 merupakan hasil pengolahan program mikrokontroler, kedua data tersebut terhubung dengan pin *buffer*. Tujuan menambahkan sebuah IC *buffer* adalah untuk menguatkan sinyal data yang dihasilkan mikrokontroler pada nilai tertentu sehingga dapat diproses oleh *optocoupler* TLP250. Nilai tertentu tersebut berhubungan dengan suplai yang diterima oleh *buffer*, yang mana besarnya suplai mempengaruhi nilai keluarannya. *Buffer* yang digunakan jenis MM74HC541N, kemudian mengenai suplai dapat dihubungkan dengan mikrokontroler bagian *port* 5 volt dan *port ground*. STM32F407VET6 memiliki dua jenis *port* sumber yaitu 3, 3 volt dan 5 volt, sehingga untuk port 5 volt dapat dimanfaatkan untuk dijadikan sebagai suplai *buffer*. *Port* nomor 18 merupakan keluaran dari pin nomor 2 *buffer* yang terhubung dengan *port* mikrokontroler atau disebut data 1, begitu juga dengan *port* nomor 19 yang merupakan keluaran dari pin nomor 3. Masing – masing keluaran *buffer* terhubung 1 buah TP250 dan resistor. Seperti yang sudah

diketahui, pin TLP250 yang terhubung dengan data dari mikrokontroler adalah pada pin anoda TLP250 dan pin katoda terhubung dengan *ground*. Suplai atau VCC TLP250 berasal pada rangkaian B1212S dengan sumber sebesar 12 volt beserta dengan *ground* akan dibahas pada sub bab berikutnya.

Saat data masuk pada pin anoda dan TLP250 mendapat suplai, maka keluaran pada TLP250 bernilai kurang lebih sama dengan nilai tegangan suplai dari B1212S dan menuju ke terminal *gate* pada MOSFET selaku saklar daya. Resistor yang terhubung antara rangkaian *driver* TLP250 dengan MOSFET memiliki fungsi yaitu sebagai pengaman atau pencegah dari arus yang berlebih masuk ke terminal *gate* MOSFET saat data atau PWM *ON*, sedangkan resistor yang terhubung secara paralel untuk MOSFET dalam keadaan data atau PWM *OFF*.

3.4 Rangkaian B1212S

Rangkaian B1212S adalah suatu rangkaian yang berfungsi sebagai suplai tegangan terisolasi dengan menghasilkan keluaran tegangan DC sebesar +12 volt dan *ground* 0 volt. Komponen B1212S menghasilkan tegangan keluaran yang belum teregulasi sehingga membutuhkan rangkaian pendukung berupa rangkaian penstabil tegangan. Komponen B1212S beserta dengan pinnya dapat ditampilkan pada Gambar 3. 5.



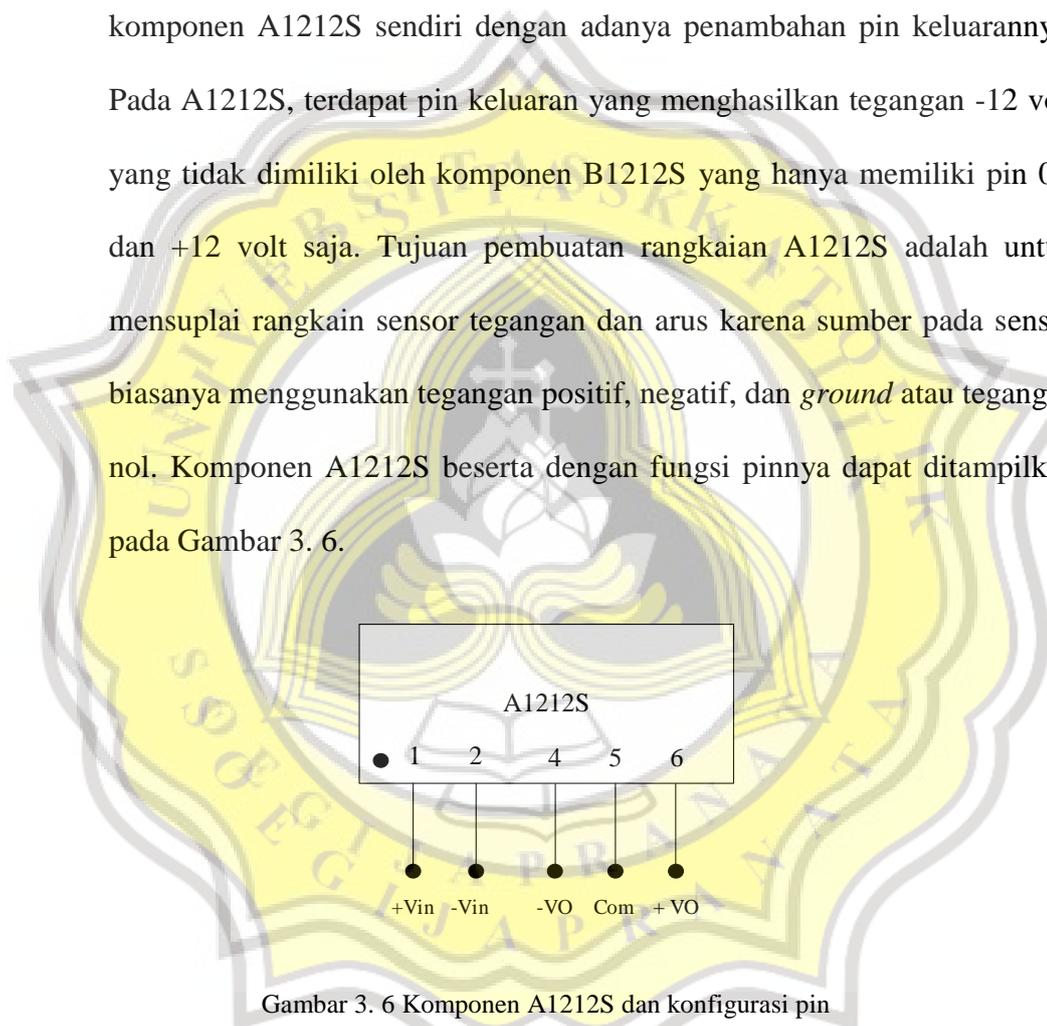
Gambar 3. 5 Komponen B1212S dan konfigurasi pin

Komponen B1212S, terdapat 4 buah pin dengan fungsinya masing - masing. Sebut saja terminal atau pin nomor 1 adalah GND, kemudian pin 2 adalah Vin, pin 3 adalah 0 volt, dan pin 4 adalah keluaran pada komponen B1212S. Pin Vin merupakan pin untuk tegangan masukan B1212S sedangkan dan pin GND merupakan *ground* yang terhubung dengan sisi masukan. Untuk 0 volt disebut dengan GND keluaran dan +VO adalah tegangan keluaran yang dihasilkan oleh B1212S dengan nilai tegangan +12 volt.

Seperti yang sudah dijelaskan mengenai komponen B1212S yang membutuhkan rangkaian penstabil tegangan sebagai pendukung, pin Vin dan GND B1212S terhubung dengan rangkaian penstabil tegangan pada desain rangkaian B1212S. Keluaran pada B1212S dijadikan sebagai suplai rangkaian *driver* TLP250 dengan pin +VO yang terhubung dengan pin VCC *optocoupler* TLP250 dan pin 0V yang terhubung dengan pin GND *optocoupler* TLP250.

3.5 Rangkaian A1212S

Rangkaian A1212S juga merupakan rangkain atau konverter yang berfungsi sebagai suplai tegangan terisolasi. Namun Perbedaan antara rangkaian A1212S dengan rangkaian B1212S adalah terletak pada komponen A1212S sendiri dengan adanya penambahan pin keluarannya. Pada A1212S, terdapat pin keluaran yang menghasilkan tegangan -12 volt yang tidak dimiliki oleh komponen B1212S yang hanya memiliki pin 0V dan +12 volt saja. Tujuan pembuatan rangkaian A1212S adalah untuk mensuplai rangkain sensor tegangan dan arus karena sumber pada sensor biasanya menggunakan tegangan positif, negatif, dan *ground* atau tegangan nol. Komponen A1212S beserta dengan fungsi pinnya dapat ditampilkan pada Gambar 3. 6.



Gambar 3. 6 Komponen A1212S dan konfigurasi pin

Komponen A1212S, terdapat 5 buah pin dengan fungsinya masing - masing. Sebut saja terminal atau pin nomor 1 adalah +Vin, kemudian pin 2 adalah -Vin atau disebut GND, pin 4 adaah -VO, pin 5 adalah Com atau disebut 0V, dan pin 6 adalah +VO yang merupakan komponen A1212S. +VO dan -VO merupakan pin yang dihasilkan oleh A1212S dengan nilai

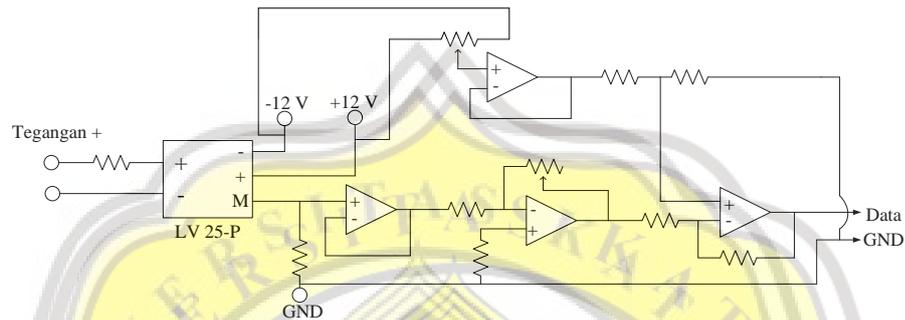
tegangan +12 volt dan -12 volt, kemudian untuk pin Com dapat disebut dengan pin 0V.

Seperti yang dijelaskan mengenai komponen B1212S yang membutuhkan rangkaian penstabil tegangan sebagai pendukung, hal tersebut juga berlaku dengan komponen A1212S yang tampak jelas bahwa pin +Vin dan -Vin untuk A1212S terhubung dengan rangkaian penstabil tegangan pada desain rangkaian A1212S. Keluaran pada A1212S dijadikan sebagai suplai rangkaian sensor tegangan dan sensor arus dengan pin +VO pada keluaran A1212S yang terhubung dengan pin sumber positif kedua sensor dan sebuah *operationg amplifier* (OP-AMP) yang ada pada rangkaian kedua sensor. Sama halnya dengan Pin -VO yang terhubung dengan pin sumber negatif untuk kedua sensor dan OP-AMP. Dan yang terakhir yaitu Pin 0V yang terhubung dengan pin 0 sensor arus dan sebagai *ground* pada kedua rangkaian sensor.

3.6 Desain Rangkaian Sensor Tegangan LV25-P

Seperti yang sudah dijelaskan, LV25-P merupakan komponen yang berfungsi sebagai pendeteksi atau pembaca tegangan sebagai sinyal aktual yang dihasilkan oleh suatu perangkat. Implementasi *hardware* pada rangkaian loop tertutup, sensor tegangan terhubung secara paralel dengan kapasitor yang berada di antara terminal masukan *Three-Level Buck DC-DC Converter* (TLBC) dan terminal keluaran PV. Sensor tersebut bertujuan untuk mengamankan mikrokontroler dari tegangan selaku sinyal aktual

yang diukur jika bernilai tinggi. Besaran nilai resistor pada rangkaian sensor tegangan dapat mengatur atau mempengaruhi besaran pengukuran tegangan. Skema rangkaian sensor tegangan LV25-P dapat ditampilkan pada Gambar 3. 7.

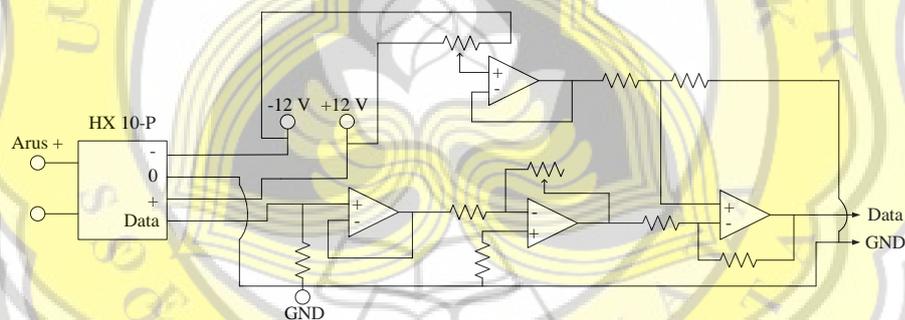


Gambar 3. 7 Skema rangkaian sensor tegangan LV25-P

Penjelasan pada bab sebelumnya bahwa arus yang masuk ke sensor tegangan LV-25P hanya sebesar 10mA, sehingga terdapat sebuah resistor dengan nilai tertentu yang terhubung pada pin masukan LV25-P seperti skema rangkaian diatas. Suplai +12 volt, -12 volt, dan GND yang terdapat pada rangkaian sensor tegangan berasal dari rangkaian A1212S. Besaran nilai resistor yang digunakan sangat berperan penting dalam menentukan hasil keluaran sensor, dengan tujuan yaitu mempermudah pembacaan oleh ADC mikrokontroler. Pada skema rangkaian sensor tegangan, pin keluaran sensor tegangan terhubung dengan 4 buah OP-AMP atau disebut dengan rangkaian *operating amplifier*. Rangkaian *operating amplifier* tersebut secara desain dan *hardware* dapat dikemas menjadi 1 buah IC dengan jenis IC TL084CN yang bertujuan untuk mendukung kinerja sensor tegangan.

3.7 Desain Rangkaian Sensor Arus HX10-P

Prinsip kerja pada rangkaian sensor arus hampir sama dengan rangkaian sensor tegangan, namun yang membedakan yaitu untuk sensor arus untuk mendeteksi atau membaca arus sebagai sinyal aktual yang dihasilkan oleh suatu perangkat. Implementasi *hardware* pada rangkaian loop tertutup, sensor arus juga terhubung secara seri dengan kapasitor yang berada di antara terminal masukan *Three-Level Buck DC-DC Converter* (TLBC) dan terminal keluaran PV. Mengenai skema rangkaian sensor arus HX10-P yang sama seperti skema rangkaian sensor tegangan LV25-P yang dapat dilihat pada Gambar 3. 8.

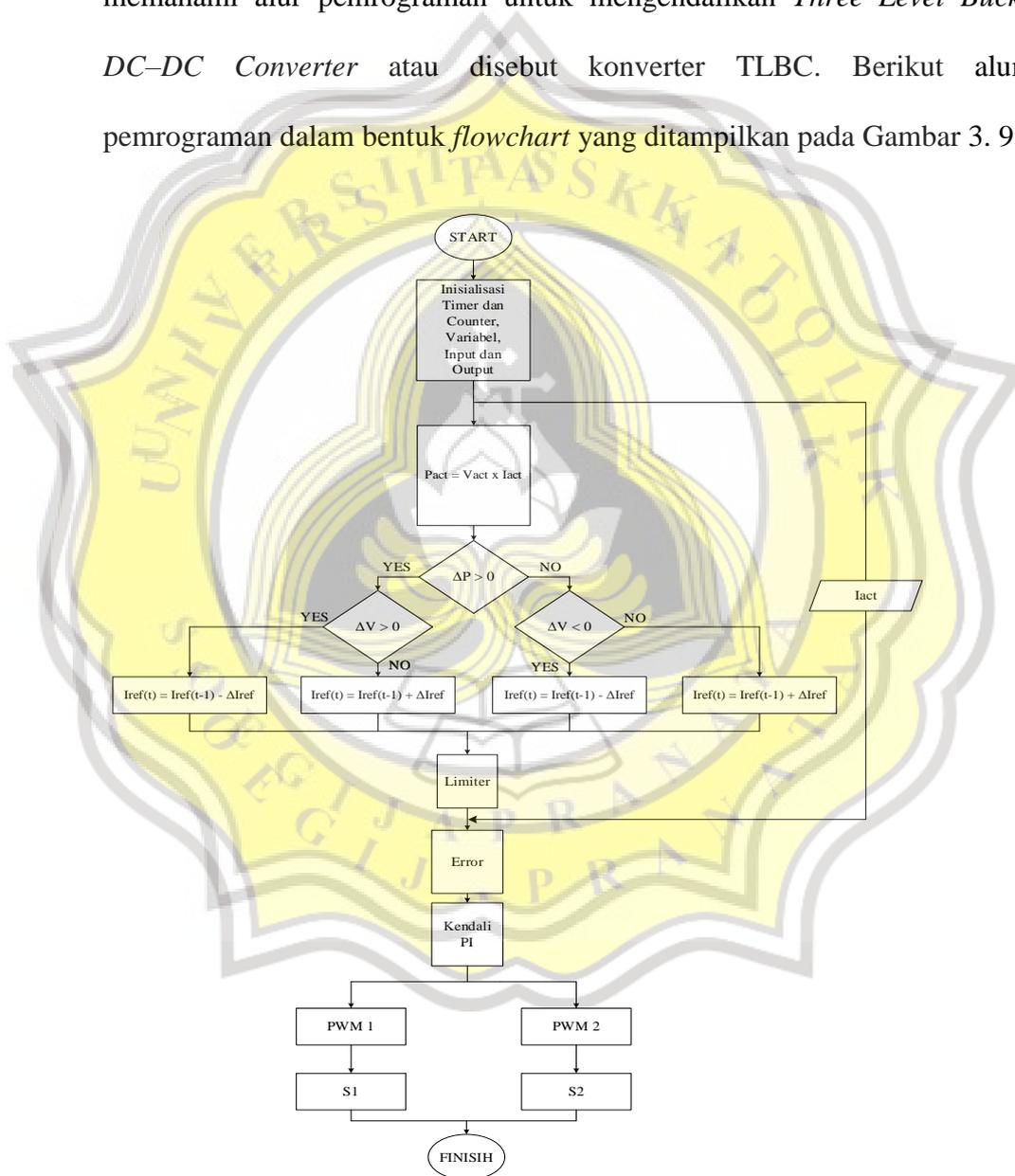


Gambar 3. 8 Skema rangkaian sensor arus HX10-P

Pada gambar skema rangkaian diatas, sensor arus tidak membutuhkan resistor dengan nilai tertentu yang terhubung pada pin masukannya. Suplai +12 volt, -12 volt, dan GND yang terdapat pada rangkaian sensor arus juga berasal pada rangkaian A1212S dan rangkaian *operating amplifier* yang terhubung dengan pin keluaran sensor arus. Rangkaian *operating amplifier* dengan tujuan sama yaitu untuk mendukung kinerja sensor.

3.8 Alur Pemrograman

Sebelum membuat strategi kendali dalam bentuk program simulasi maupun secara implementasi *hardware* pada mikrokontroler, strategi kendali terlebih dahulu dibuat secara *flowchart* agar dapat mudah memahami alur pemrograman untuk mengendalikan *Three-Level Buck DC-DC Converter* atau disebut konverter TLBC. Berikut alur pemrograman dalam bentuk *flowchart* yang ditampilkan pada Gambar 3. 9.

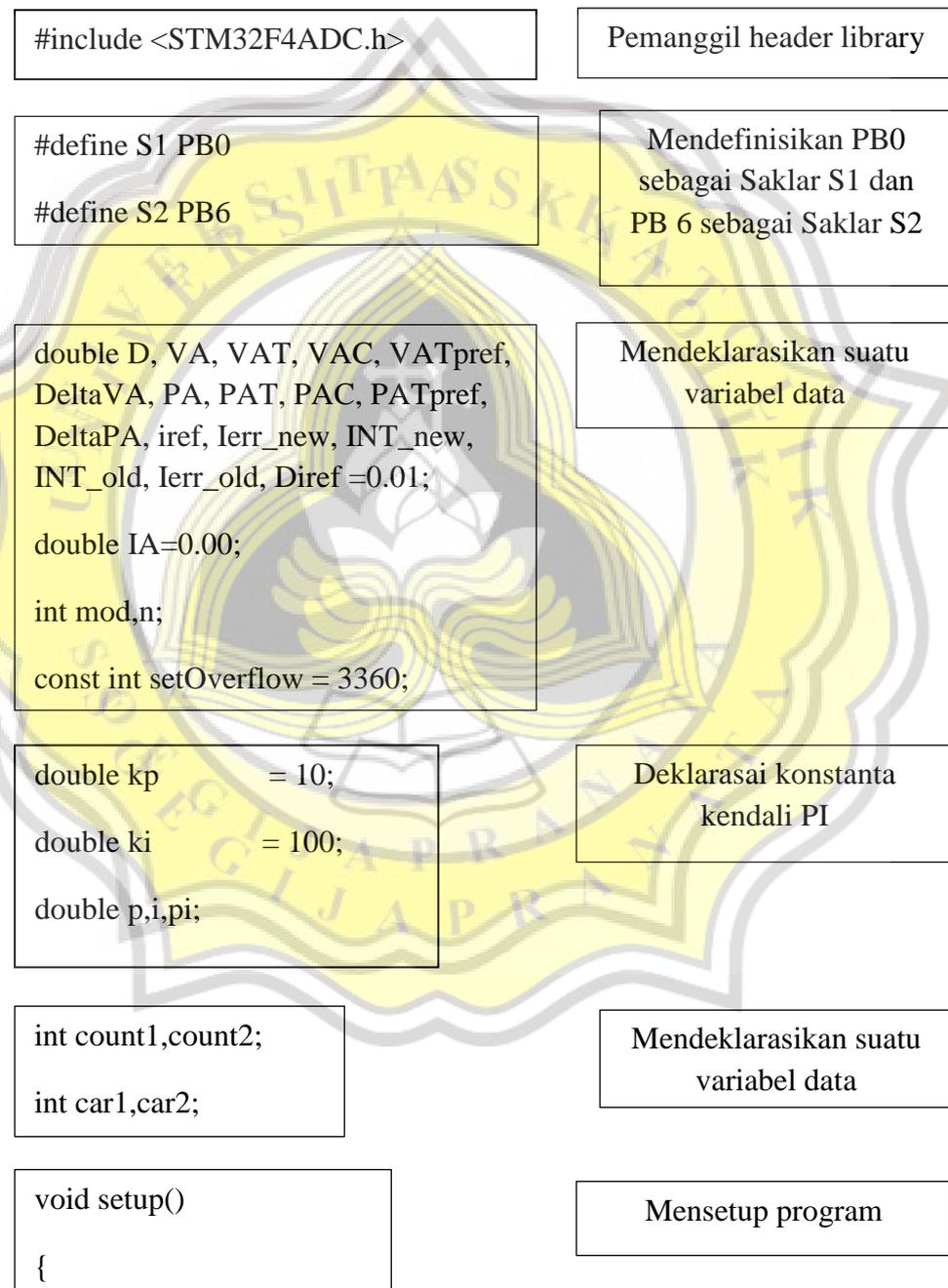


Gambar 3. 9 *Flowchart* strategi kendali program

Pada *flowchart* diatas merupakan penggabungan algoritma MPPT *Perturb and Observe* (P&O) dengan kendali PI. Algoritma MPPT P&O memiliki alur yang sama dengan dasar algoritma MPPT P&O yang telah ditampilkan sebelumnya. Alur yang pertama adalah menginisialisasikan *timer* dan *counter*, variabel, *input* maupun *output* sebagai fondasi awal membuat *interrupt*, membaca tegangan dan arus dari sensor, dan lain - lainnya. Saat mikrokontroler menerima data dari kedua sensor, data tegangan aktual (V_{act}) dan arus aktual (I_{act}) sensor dikalikan terlebih dahulu untuk dijadikan sebagai data baru yaitu data daya aktual. Dengan diketahuinya daya aktual (P_{act}) dan tegangan actual (V_{act}), maka algoritma MPPT P&O dapat berjalan dan menghasilkan data keluaran berupa arus referensi (I_{ref}).

Data I_{ref} tersebut sebenarnya dianggap sama dengan simbol D pada dasar algoritma P&O yang kemudian menuju ke sebuah *limiter*. *Limiter* tersebut sebagai batasan nilai D atau arus yang disesuaikan dengan nilai pembacaan sensor arus yang mampu hingga 5 ampere. Setelah melewati *limiter*, arus referensi (I_{ref}) akan dibandingkan dengan arus aktual (I_{act}) menghasilkan nilai atau data *error*. Data *error* tersebut diolah oleh kendali PI atau PI *control* dan menghasilkan PWM. Karena program *timer* telah dibuat menjadi 2 buah carrier, maka menghasilkan 2 buah PWM pada keluaran kendali PI dengan sudut yang bergeser 180° sebagai masukan untuk kedua buah saklar daya.

Flowchart tersebut dapat diubah menjadi sebuah program yang digunakan untuk mengendalikan konverter TLBC menggunakan bahasa pemrograman C atau C++ pada perangkat lunak Arduino IDE yang dapat dijelaskan isinya sebagai berikut.



```
Serial.begin(9600);
```

Inisialisasi *bitrate port serial*

```
Timer8.init();  
Timer8.pause();  
Timer8.setMasterMode(TIMER_MASTER_  
MODE_UPDATE);  
Timer8.setPeriod(500);  
Timer8.setMode(TIMER_CH2,  
TIMER_OUTPUT_COMPARE);  
Timer8.setCompare(TIMER_CH2, 1);  
Timer8.attachInterrupt(TIMER_CH2,PnO);  
Timer8.refresh();  
Timer8.pause();
```

Setelan *timer 8*
sebagai *interrupt*
pada void PnO

```
Timer1.init();  
Timer1.pause();  
Timer1.setMasterMode(TIMER_MASTER_  
MODE_UPDATE);  
Timer1.setPeriod(2000);  
Timer1.setMode(TIMER_CH2,  
TIMER_OUTPUT_COMPARE);  
Timer1.setCompare(TIMER_CH2, 1);  
Timer1.attachInterrupt(TIMER_CH2,Cont);  
Timer1.refresh();  
Timer1.resume();
```

Setelan *timer 1*
sebagai *interrupt*
pada void Cont
(Kendali PI)

```
Timer2.init();  
  
Timer2.pause();  
  
Timer2.setMasterMode(TIMER_MASTER_  
MODE_UPDATE);  
  
Timer2.setPeriod(1000);  
  
Timer2.setMode(TIMER_CH2,  
TIMER_OUTPUT_COMPARE);  
  
Timer2.setCompare(TIMER_CH2, 1);  
Timer2.attachInterrupt(TIMER_CH2,INT1);  
Timer2.refresh();  
Timer2.resume();
```

Setelan *timer 2*
sebagai *interrupt*
pada void INT

```
Timer3.init(); //PWM timer (PB0)  
Timer3.setPeriod(20);  
Timer3.refresh();  
  
Timer4.init(); //(PB6)  
Timer4.setPeriod(20);  
Timer4.refresh();  
Timer4.setCount(1680);  
  
Timer3.resume();  
Timer4.resume();
```

Setelan sinyal *carrier*
untuk pembuatan
PWM pada *timer 3*
dan *timer 4*

```
pinMode(PB6,PWM);

pinMode(PB0,PWM);

pinMode(PA0, INPUT_ANALOG);
//VOLTAGE SENSOR (TIMER 1)

pinMode(PA1, INPUT_ANALOG);
//CURRENT SENSOR (TIMER 2)

}
```

Inisialisasi pin *ouput* PWM dan *input* sensor

```
void INT1()
{
  Serial.print(VA);
  Serial.print(" ");
  Serial.print(IA);
  Serial.print(" ");
  Serial.println(iref);
  //Serial.print(" ");
  //Serial.println(mod);
}
```

Menampilkan variable yang dibutuhkan melalui komunikasi serial

```
void loop()
{
  count1 = Timer3.getCount();
  count2 = Timer4.getCount();
  car1 = count1;
  car2 = count2;

  pwmWrite(PB0, mod);
  pwmWrite(PB6, mod);
}
```

Program *loop* yang terdiri atas program eksekusi *timer* untuk kedua sinyal *carrier* dan program eksekusi untuk kedua sinyal PWM

```

void PnO ()
{
VA = analogRead(PA0)/53.783;
//+-50 ->54
IA = analogRead(PA1)/780.012;
//+-770 ->814
PA =VA*IA;

n++;
PAC=PAC+PA;
VAC=VAC+VA;

if(n>=400)
{
n=0;
PAT=PAC;
PAC=0;
VAT=VAC;
VAC=0;

DeltaVA=VAT-VATpref;
DeltaPA=PAT-PATpref;

if (DeltaPA>0){
if (DeltaVA>0){
D=D-Diref;
}
else if(DeltaVA<0){
D=D+Diref;
}
}

else if(DeltaPA<0){
if (DeltaVA<0){
D=D-Diref;
}
else if(DeltaVA>0){
D=D+Diref;
}
}
}
}

```

Program keseluruhan pada algoritma MPPT P&O dengan memperoleh data daya terlebih dahulu yang terdiri atas penggabungan data tegangan dan arus. Data daya dan tegangan diambil rata - rata sebanyak 400 sampel dan menuju ke program algoritma MPPT P&O

```

if(D>4.1){
D=4.1;//batas maksimal
}
else if(D<0.1){
D=0.1;//batas minimal
}
VATpref = VAT;
PATpref= PAT;

```

Merupakan kelanjutan algoritma MPPT P&O dengan program *limiter*

```

void Cont ()
{
iref = D;
Ierr_new= iref-IA;//error
//Proportional Integral control
INT_new =(Ierr_new + Ierr_old)+
INT_old;
mod = ki*INT_new + kp*Ierr_new;
Ierr_old = Ierr_new;
if ( mod >0 && mod<3360)
{
INT_old = INT_new;
}
}

```

Program keseluruhan kendali PI dengan void *Control (Cont)*