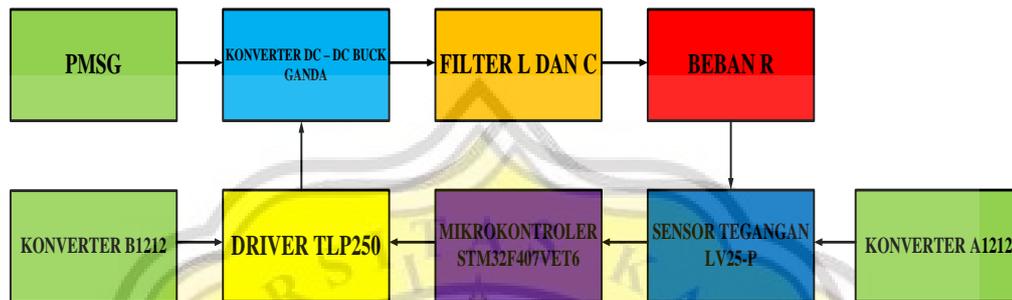


## BAB III DESAIN DAN IMPLEMENTASI

### 3.1 Pendahuluan



Gambar 3. 1 Diagram Blok Konverter Buck Ganda

Strategi kontrol yang telah dijabarkan akan dibuktikan dengan simulasi secara digital menggunakan perangkat lunak pada komputer selanjutnya akan diimplementasikan pada sebuah *hardware* sebagai bukti keberhasilan dari strategi kontrol dengan konverter yang ditampilkan. Desain dari konverter yang ditampilkan disimulasikan menggunakan bantuan aplikasi perangkat lunak PSIM secara langsung dengan menggunakan nilai parameter yang disamakan antara simulasi dan implementasi *hardware*.

Tabel 3. 1 Parameter Simulasi dan Implementasi *Hardware*

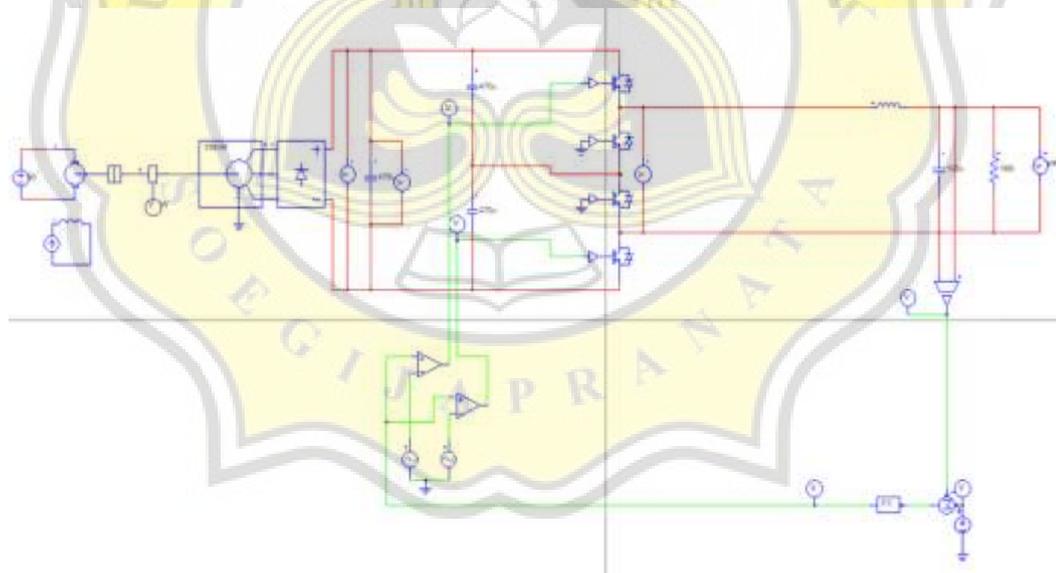
<i>Device</i>	<i>Units</i>
Kecepatan PMSG	298, 346, 471 RPM
<i>Filter inductive</i>	2 mH
Load resistor	100 $\Omega$
PI gain	1
Capacitor C1, C2, C3	470 uF
Capacitor C4	100 uF
Set reference	48 Vdc

Nilai parameter dapat dilihat pada Tabel 3. 1. Disajikan pada Gambar 3. 1 menjelaskan sistem kerja dari konverter DC – DC buck ganda. Gambar 3. 1 juga digunakan sebagai acuan pada simulasi dan implementasi serta menjelaskan koneksi antar komponen pada rangkaian konverter DC – DC buck ganda.

Gambar 3. 1 menyajikan diagram blok sistem kerja pada implementasi *hardware*. Berdasarkan implementasi *hardware*, konverter berfungsi untuk mengirimkan tegangan menuju beban R dengan nilai 48 Vdc secara konstan dan stabil. Sehingga sinyal referensi akan disetel pada nilai 48 Vdc, dimana nantinya sinyal aktual yang dihasilkan oleh konverter harus mengikuti sinyal referensi dengan stabil dan konstan pada kecepatan PMSG yang bervariasi. TLP250 sebanyak 2 buah digunakan sebagai *driver* MOSFET, setiap TLP250 mengendalikan satu MOSFET. TLP250 akan disuplai daya oleh konverter B1212, dikarenakan TLP250 membutuhkan suplai daya yang terisolasi dengan TLP250 yang lain. Keluaran konverter dihubungkan dengan sensor tegangan LV25-P yang dirangkai paralel

berfungsi membaca gelombang tegangan aktual yang dihasilkan konverter, serta diberi *filter* L dan *filter* C yang berfungsi sebagai penyaring riak agar gelombang tegangan yang dihasilkan minim riak. Implementasi *hardware* ini hanya dilengkapi dengan sensor tegangan yang bertujuan mengisolasi antara mikrokontroler dan titik pengukuran pada konverter, sehingga mikrokontroler lebih aman dari overshoot tegangan yang dihasilkan konverter nantinya. Mikrokontroler yang digunakan sebagai kendali pada sistem konverter DC – DC buck ganda ini adalah STM32F407VET6, karena memiliki kemampuan yang dibutuhkan pada konverter.

### 3.2 Simulasi *Hardware* Konverter DC – DC Buck Konverter



Gambar 3. 2 Simulasi Konverter DC – DC Buck Ganda

Sistem pada konverter DC – DC buck ganda teregulasi tegangan ini disimulasikan menggunakan perangkat lunak PSIM. Simulasi dilakukan dengan tujuan sebagai langkah awal sebelum implementasi *hardware* agar

meminimalisir kesalahan dan kerusakan komponen, serta dapat menganalisa sistem dapat berfungsi sesuai yang ditentukan. Simulasi dibuat menggunakan sistem kerja analog seperti pada Gambar 3. 2 diatas.

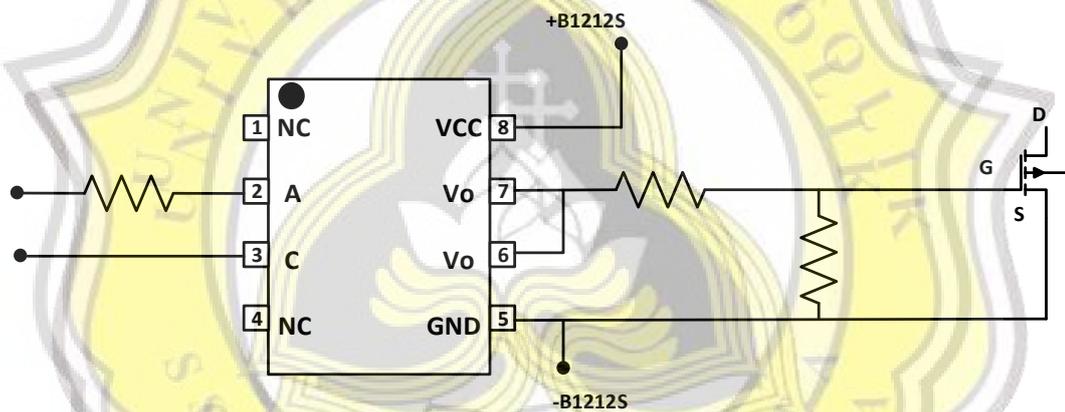
Setelah dilakukannya simulasi dan menghasilkan keluaran yang sesuai dengan ketentuan, desain dapat diimplementasikan dalam bentuk *hardware* dan sistem kerja atau sistem kendalinya dibuat digital agar lebih mudah pada saat implementasi.

### 3.3 Driver TLP250

MOSFET tidak dapat berfungsi sendiri, maka dari itu MOSFET membutuhkan suatu *driver* sebagai kendali terhadap tegangan yang masuk ke dalam MOSFET. Pada PIN *gate* perangkat ini membutuhkan suplai tegangan dengan nilai tertentu yang berguna untuk mengubah kondisi menjadi ON dan sering terjadi tegangan logika dari mikrokontroler tidak sesuai dengan tegangan perangkat ini. Pada peristiwa pensaklaran dengan kecepatan tinggi PIN *gate* harus diisi dan dibuang secara cepat, semakin tinggi frekuensi maka semakin cepat juga pensaklaran akan dilakukan. Maka daya yang dihasilkan oleh mikrokontroler tidak dapat menyuplai daya yang dibutuhkan oleh saklar daya, oleh karena itu saklar daya membutuhkan komponen *driver* TLP250 sebagai pengatur pensaklaran saklar daya.

TLP250 digunakan sebagai *gate driver* saklar daya yang memiliki sinyal keluaran yang terisolasi oleh rangkaian optocoupler. *Driver* ini berfungsi dengan suplai tegangan menggunakan B1212 yang bersumber

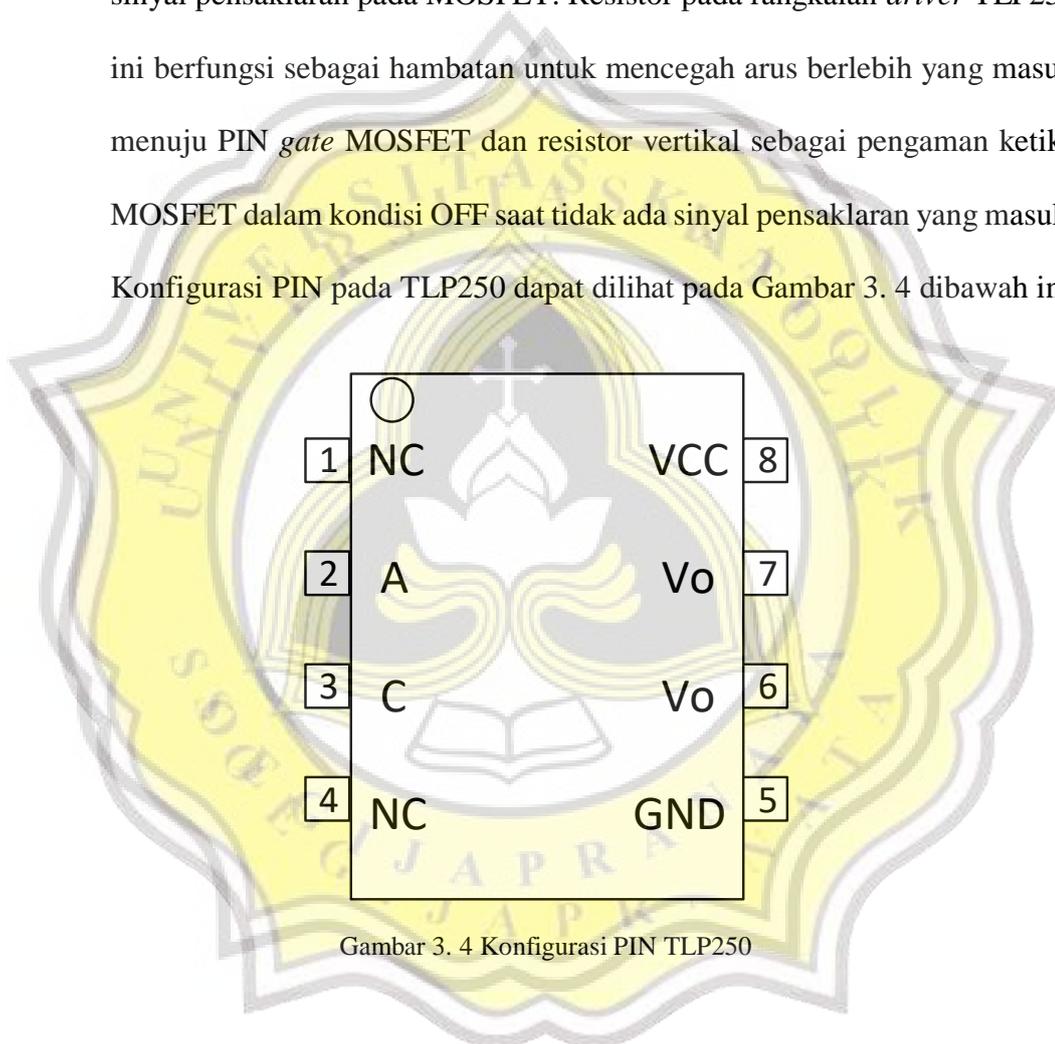
dari sinyal mikrokontroler. seperti yang sudah dipelajari untuk menggunakan MOSFET memerlukan tegangan antara *gate* dan *source*. Sehingga untuk mengaktifkan saklar daya yang dirangkai secara seri sebanyak dua buah dibutuhkan sumber yang terisolasi pada setiap saklar daya yang ingin diaktifkan. Pada implementasi *hardware* dibutuhkan dua buah TLP250 dan B1212 sebagai kendali untuk saklar daya yang digunakan. Rangkaian TLP250 sebagai kendali saklar daya dapat dilihat pada Gambar 3. 3.



Gambar 3. 3 Rangkaian TLP250 Sebagai *Driver* MOSFET

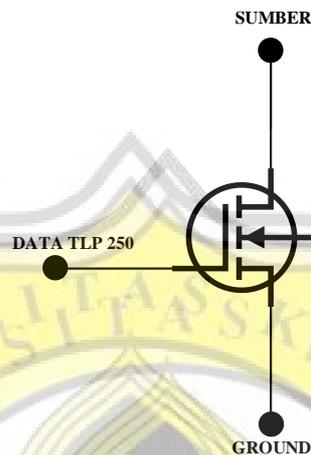
TLP250 memiliki total PIN 8 buah, namun yang dapat difungsikan hanya 6 PIN. PIN 2 merupakan pin yang nantinya dikoneksikan pada *port* I/O mikrokontroler, memiliki fungsi sebagai *anoda* LED yang ada di dalam TLP250. Dikarena PIN 2 merupakan *anoda* dari LED diperlukan sebuah hambatan untuk menghambat arus yang masuk. PIN 3 merupakan *katoda* dari LED didalam TLP250 dikoneksikan menuju port GND pada mikrokontroler. PIN 8 merupakan sumber tegangan dari TLP250 yang dikoneksikan menuju PIN positif B1212 selanjutnya akan mensuplai

tegangan menuju PIN *gate* pada MOSFET. PIN 5 merupakan GND yang terhubung pada PIN negatif B1212 dan PIN *source* pada MOSFET. PIN 6 dan 7 merupakan VO dari TLP250 yang saling terhubung dan memiliki kesamaan pada fungsinya yang terkoneksi pada PIN *gate* sebagai pemberi sinyal pensaklaran pada MOSFET. Resistor pada rangkaian *driver* TLP250 ini berfungsi sebagai hambatan untuk mencegah arus berlebih yang masuk menuju PIN *gate* MOSFET dan resistor vertikal sebagai pengaman ketika MOSFET dalam kondisi OFF saat tidak ada sinyal pensaklaran yang masuk. Konfigurasi PIN pada TLP250 dapat dilihat pada Gambar 3. 4 dibawah ini.



Gambar 3. 4 Konfigurasi PIN TLP250

### 3.4 Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor (MOSFET)



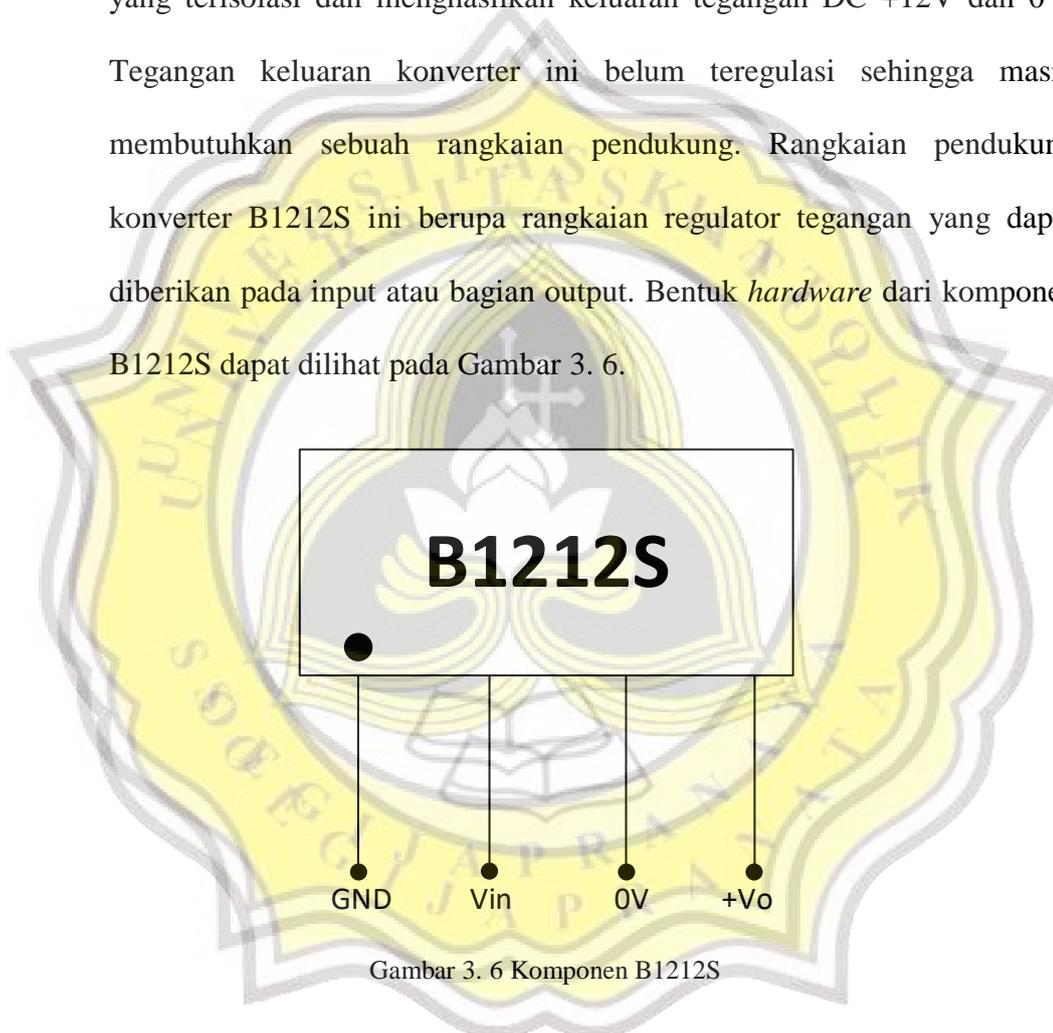
Gambar 3. 5 MOSFET

MOSFET merupakan sebuah komponen semikonduktor elektronika daya yang memiliki tiga PIN yaitu *gate*, *drain*, dan *source* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. 5. MOSFET biasa dimanfaatkan sebagai saklar daya elektronik yang memiliki kemampuan untuk melakukan pensaklaran dengan cepat dan efisiensi tinggi. Untuk melakukan fungsi pensaklaran dengan cepat, MOSFET memerlukan suplai tegangan dengan nilai tertentu sehingga hambatan *drain source* memiliki nilai sekecil mungkin untuk meminimalkan rugi – rugi daya. MOSFET sering digunakan pada rangkaian elektronik karena dapat mengendalikan daya secara efisien. MOSFET dapat berfungsi sebagai saklar dengan memiliki kondisi ON dan kondisi OFF. Kondisi ON pada MOSFET dipengaruhi dengan cara mengaliri tegangan positif antara pin *gate* dan *source*, jika menginginkan MOSFET kondisi OFF dengan cara mengaliri tegangan negatif pin *gate*. Peristiwa ini juga

dapat ditemukan pada IGBT dan BJT. Pada implementasi *hardware* digunakan MOSFET dengan seri IRFP460.

### 3.5 Rangkaian B1212S

Rangkaian B1212S ini memiliki fungsi sebagai konverter tegangan yang terisolasi dan menghasilkan keluaran tegangan DC +12V dan 0V. Tegangan keluaran konverter ini belum teregulasi sehingga masih membutuhkan sebuah rangkaian pendukung. Rangkaian pendukung konverter B1212S ini berupa rangkaian regulator tegangan yang dapat diberikan pada input atau bagian output. Bentuk *hardware* dari komponen B1212S dapat dilihat pada Gambar 3. 6.



Gambar 3. 6 Komponen B1212S

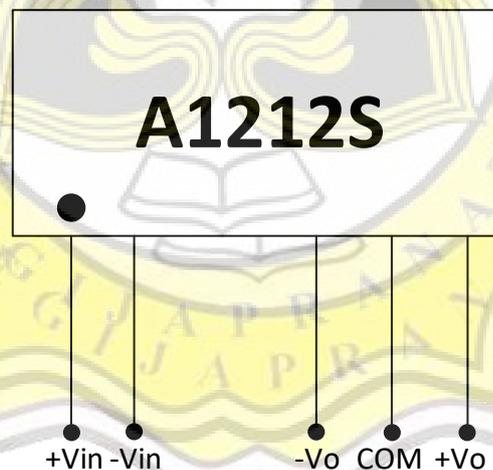
Pada implementasi *hardware*, rangkaian konverter B1212S ini berfungsi sebagai sumber tegangan DC untuk rangkaian TLP250. Karena rangkaian ini menghasilkan sumber tegangan DC yang terisolasi, sehingga PIN positif dapat dikoneksikan dengan PIN negatif output konverter berlaku juga sebaliknya untuk menghasilkan sumber tegangan positif dan negatif

dengan pin ground pada koneksi pin sumber dan output konverter telah dihubungkan.

### 3.6 Rangkaian A1212S

Rangkaian A1212S memiliki kegunaan sebagai konverter tegangan yang terisolasi. Perbedaan dengan rangkaian B1212S terletak pada PIN keluaran yang dihasilkan oleh rangkaian A1212S yaitu dapat menghasilkan tegangan 0 selain tegangan -12V dan tegangan +12V. Sehingga rangkaian A1212S digunakan sebagai penyuplai sumber tegangan DC bagi sensor tegangan yang biasa menggunakan tiga tipe tegangan, yaitu positif, negatif, dan nol. Untuk wujud dari komponen A1212S dapat dilihat pada Gambar 3.

7.

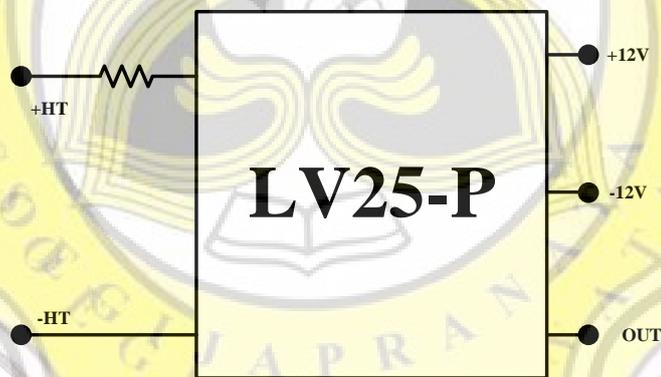


Gambar 3. 7 Komponen A1212S

### 3.7 Sensor Tegangan Rangkaian LV25-P

LV25-P merupakan komponen elektronik yang memiliki fungsi sebagai sensor tegangan pembaca sinyal aktual tegangan keluaran dari implementasi

rangkaian loop tertutup konverter DC – DC buck ganda. Dengan digunakannya sensor ini mikrokontroler dapat mengukur sinyal aktual dari keluaran konverter dengan aman pada tegangan tinggi. Besarnya pengukuran tegangan dapat diatur pada besarnya beban R pada rangkaian LV25-P. Arus yang dapat masuk menuju sensor tegangan hanya 10mA. Sehingga besarnya penggunaan beban R sangat berperan penting karena keluaran dari sensor tegangan dapat disesuaikan dengan pembacaan ADC pada mikrokontroler, rangkaian yang sering digunakan untuk menunjang kinerja sensor tegangan LV25-P adalah rangkaian *amplifier* yang dirangkai pada keluaran sensor tegangan. Untuk tampilan sensor tegangan LV25-P dapat dilihat pada gambar 3. 8.



Gambar 3. 8 Sensor Tegangan Lv25-P

### 3.8 Mikrokontroler STM32F407VET6

Mikrokontroler merupakan sebuah perangkat keras yang digunakan untuk sistem elektronika daya yang memiliki fungsi menjalankan perintah secara digital melalui suatu program yang dibuat dengan tujuan tertentu. Dalam mikrokontroler terdapat inti yang

berguna sebagai pengolah perintah dari program, biasanya pada mikrokontroler terdapat satu atau lebih inti CPU (*central Processing Unit*) beserta memori dan sistem I/O yang dapat difungsikan melalui program.



Gambar 3. 9 Mikrokontroler STM32F407VET6

STM32F407VET6 merupakan sebuah mikrokontroler 32bit produksi dari STMicroelectronics yang memiliki performa tinggi dilengkapi dengan prosesor ARM Cortex-M4 32 bit RISC *core* berfungsi pada frekuensi 168MHz. Selain itu, mikrokontroler STM32F407VET6 yang tertampil pada Gambar 3. 9 juga dilengkapi memori yang tertanam berkecepatan tinggi. Mikrokontroler ini dipilih sebagai sistem kendali pada pembuatan *hardware* ini karena memiliki kecepatan pembacaan ADC yang cepat dan akurat, dan memproses program dengan cepat.

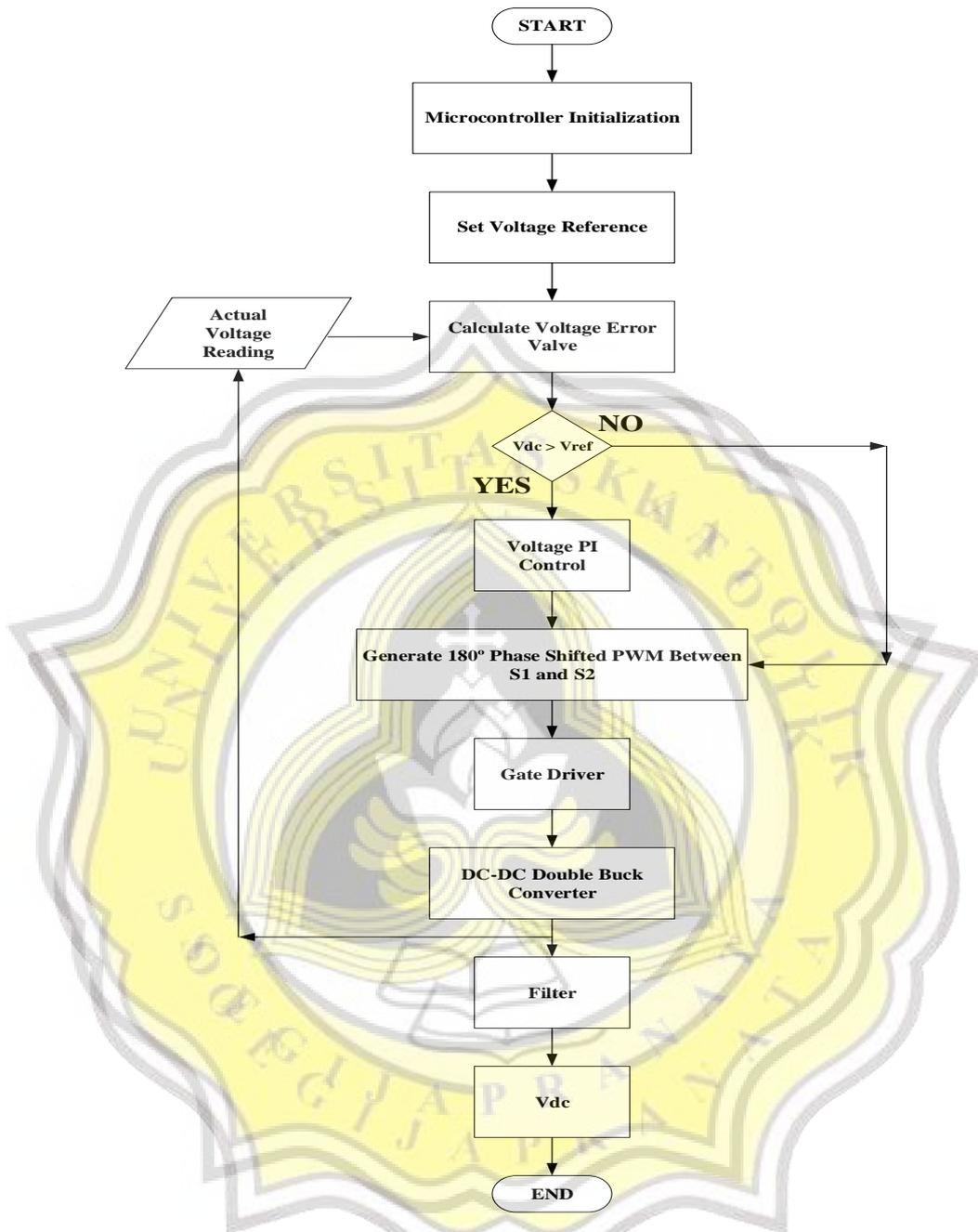
Seluruh fitur yang dimiliki oleh STM32407VET6 akan dijabarkan secara lengkap sebagai berikut:

1. Memiliki prosesor Arm<sup>®</sup> 32-bit Cortex<sup>®</sup>-M4 CPU dengan fitur FPU, *Adaptive real-time accelerator* (ART Accelerator) yang memperbolehkan kondisi 0 dan menunggu eksekusi dari *Flash Memory*.
2. Memiliki Frekuensi mencapai 168 Mega Hz dengan *Memory Protection Unit*, 210 DMIPS/1.25 DMIPS/MHz (Dhrystone 2.1), dan instruksi DSP.
3. Memori dapat mencapai 1 Mbyte dari *Flash Memory*, dapat mencapai 192+4 Kbytes untuk SRAM termasuk juga 64-Kbyte dari CCM (*Core Coupled Memory*) data RAM.
4. *Memory OTP* mencapai 512 bytes.
5. Support akan Compact Flash, SRAM, PSRAM, NOR, dan NAND dengan kontroller statis memori yang fleksibel.
6. Dapat terhubung LCD parallel
7. Pada supply dan Input Output mengeluarkan 1.8 Volt sampai 3.6 Volt, terdapat fitur POR, PDR, PVD, dan BOR.
8. Mempunyai jenis 3x12-bit, 2.4 MSPS Konverter A/D yang mencapai 24 channel, dan 7.2 MSPS pada mode tiga sisipan.
9. 2x12-bit konverter D/A.
10. Terdapat fitur DMA sebanyak 16 buah dengan fitur FIFO dan burst.

11. Mempunyai 17 buah *timer* dengan 12 buah *timer* 16-bit dan 2 *timer* 32-bit dengan kecepatan 168 MHz.terdapat 4 IC/OC/PWM atau *pulse counter* dan *quadrature (incremental) encoder* input.
12. Terdapat 140 Input Output dengan fitur Interrupt dengan 136 fast I/O mencapai 84 MHz, dan 138 5V-tolerant I/O.
13. Terdapat 15 koneksi antarmuka yang disajikan mulai dari I2C, USARTS, SPIS, dan CAN.
14. Untuk koneksi dapat digunakan USB 2.0.

### 3.9 Alur Pemrograman

Suatu sistem kendali digital kedalam suatu program yang direncanakan dan akan dibuat dalam bentuk simulasi dan implementasi *hardware* akan diproses menggunakan mikrokontroler. Gambar 3. 10 mendeskripsikan alur pemrograman dari konverter DC – DC buck ganda ke dalam suatu flowchart.



Gambar 3. 10 Flowchart Program

Pada flowchart yang sudah ditampilkan, mula – mula sistem pada mikrokontroler mengatur sinyal referensi tegangan pada nilai 48Vdc. Selanjutnya mikrokontroler membaca sinyal aktual tegangan menggunakan fungsi ADC yang tertanam pada mikrokontroler. Jika pembacaan tegangan

DC aktual memiliki nilai melebihi tegangan referensi, maka kendali tegangan menggunakan kontrol PI menghasilkan nilai *error* dan proses pembuatan PWM dengan fasa tergeser  $180^0$  sebagai masukan saklar daya S1 dan S2 berlangsung. PWM dengan fasa bergeser selanjutnya digunakan sebagai pengatur kondisi ON dan OFF pada MOSFET konverter DC – DC buck ganda teregulasi tegangan. Selanjutnya menuju *filter* L dan *filter* C untuk penyaringan riak pada sinyal keluaran tegangan konverter. Setelah penyaringan didapatkan hasil sinyal tegangan DC yang stabil, konstan serta minim riak dan mengikuti sinyal tegangan referensi pada nilai 48Vdc. Jika tegangan DC aktual yang dihasilkan tidak melebihi nilai referensi tegangan 48Vdc maka sistem akan langsung menuju proses pembuatan PWM dengan fasa tergeser tanpa melewati kontrol PI dan sistem tidak akan berfungsi menurunkan tegangan berlebih yang dihasilkan.

Program yang digunakan pada sistem konverter DC – DC buck ganda teregulasi tegangan ditulis menggunakan bahasa C/C++ dengan bantuan perangkat lunak Arduino IDE yang akan dijelaskan di bawah ini.

```
#include <STM32F4ADC.h>
```

Pemanggil header library

```
STM32ADC inADC(ADC1);
```

Inisialisasi ADC mikrokontroler

```
uint8_t analog_pins[] = {PA0, PA1, PA4};
```

Deklarasi variabel data

```
int count, car, car1, car2;

int mod_final;

int vact, iact, err, err_v, ired;
```

Deklarasai  
variabel data

```
double itg, lastitg, pi, mod, Bmod, P, I;

double vref, itg_v, lastitg_v, pi_v, P_v, I_v;
```

```
void setup()
```

Setup program

```
/* CONTROL */

float kp_v = 0.001;

float ki_v = 0.1;

float kp = 0.001;

float ki = 0.1;
```

Deklarasai konstanta  
kontroler PI

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

Inisialisasi bitrate port  
serial

```
Timer5.init();

Timer5.pause();

Timer5.setMasterMode(TIMER_MASTER_MODE_UPDATE);

Timer5.setPeriod(10000);

Timer5.setMode(TIMER_CH2, TIMER_OUTPUT_COMPARE);

Timer5.setCompare(TIMER_CH2, 1);

Timer5.attachInterrupt(TIMER_CH2, INT1);

Timer5.refresh();

Timer5.resume();
```

Setelan  
timer 5  
sebagai  
interrupt

```
Timer3.init(); //PWM timer

Timer3.setPeriod(20);

Timer3.refresh();

Timer4.init();

Timer4.setPeriod(20);

Timer4.refresh();

Timer4.setCount(1689);

Timer3.resume();

Timer4.resume();
```

Setelan PWM pada  
timer 3 dan timer 4

```
pinMode(PB0, PWM);

pinMode(PB6, PWM);

pinMode(PB7, PWM);

pinMode(PB8, PWM);
```

Inisialisasi port PWM

```
void loop()
{
  while (1)
  {
    sensor();
    Control();
  }
}
```

Program loop dan program while untuk pembacaan sensor dan kendali

```
void INT1()
{
  vref=2875;
  if (vref > 4000)
  {
    vref = 4000;
  }
  if (vref < 0)
  {
    vref = 0;
  }
}
```

Kalibrasi referensi tegangan

```
Serial.print(vref);
Serial.print(" ");
Serial.println(vact);
Serial.print(" ");
```

Setelan menampilkan variabel melalui komunikasi serial

```

void sensor()
{
  vact = map(analogRead(PA0), 0, 4095, 0, 4000); //v actual
}

```

Program pembacaan sensor tegangan

```

void Control()
{
  //refv = 4000;
  err_v = vref - vact;
  P_v = kp_v * err_v;
  itg_v = lastitg_v + err_v * 0.0001;
  I_v = ki_v * itg_v;
}

```

Program kendali dan loop PI tegangan

```

if (pi_v > -2000 && pi_v < 2000)
//current anti windup
{
  lastitg_v = itg_v;
}

```

Program anti windup PI tegangan

```

pwmWrite(PB6, mod); //S1
pwmWrite(PB0, mod); //S2
}

```

Program eksekusi timer PWM