

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Pendahuluan

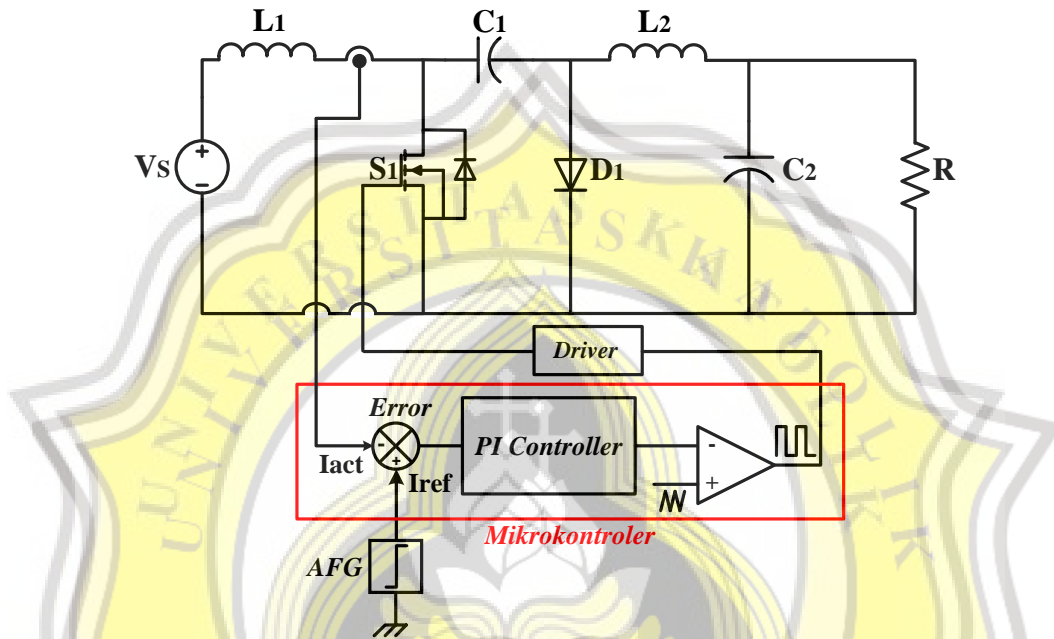
Pada bab ini membahas tentang metode penelitian dengan dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak *PSIM*. Hasil pada simulasi akan dijadikan parameter dalam implementasi dan pengujian perangkat keras yang dilakukan di laboratorium. Pengukuran setiap gelombang ditampilkan dengan menggunakan osiloskop digital pada modul yang terpasang pada perangkat keras. Modul yang terpasang adalah *YSMIM digital signal controller dsPIC33EP512MU810*, rangkaian *driver optocoupler TLP250*, rangkaian daya *cuk converter*. Pembacaan arus pada induktor pertama menggunakan sensor arus *LEM HX-10P/SP2*.

Hasil pengukuran yang akan dibahas pada bab ini adalah bentuk sinyal aktual yang mengikuti sinyal referensi dan tegangan keluaran pada *cuk converter* dengan sistem kendali arus *PI*. Pengukuran dilakukan sebagai bukti perangkat keras yang dibuat oleh penulis sesuai dengan teori dan perancangan perangkat keras pada BAB II dan BAB III.

#### 4.2. Hasil Simulasi

Pada simulasi kendali arus *PI* pada *cuk converter* dengan menggunakan perangkat lunak *PSIM* ini mencakup bentuk keluaran sinyal aktual yang diberikan sinyal referensi yang berbentuk sinyal gelombang sinusoidal, sinyal gelombang segitiga dan sinyal gelombang kotak dan tegangan keluaran pada *cuk converter* kendali arus *PI* dengan nilai HB sebesar 5 dan arus referensi sebesar 0.5 A, 1,5 A

dan 3 A. Pada simulasi perangkat lunak, kendali arus *PI* diberikan input program pada *C-Block*. Rangkaian simulasi pada perangkat lunak *PSIM* disajikan pada Gambar-4.1 dan parameter yang digunakan pada simulasi disajikan pada Tabel-4.1.



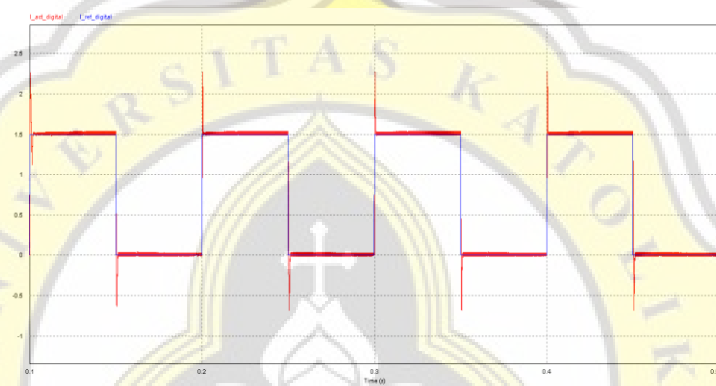
Gambar-4.1 Rangkaian simulasi kendali arus *PI* pada *cuk converter*

Tabel-4.1 Parameter Desain *Cuk Converter*

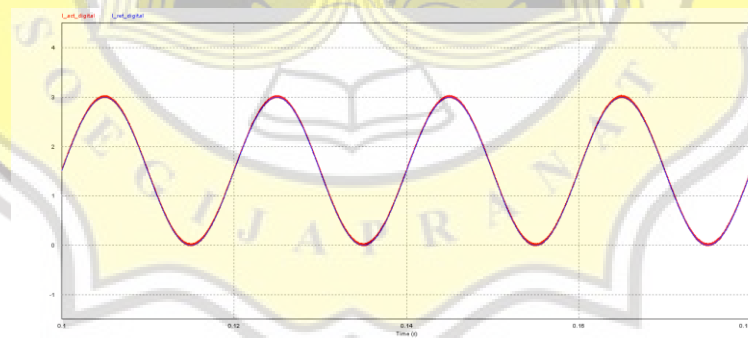
Parameter	Nilai / Tipe
Tegangan sumber	12 Volt (DC)
Induktor $L_1$	4 mH
Induktor $L_2$	4mH
Kapasitor $C_1$	470 $\mu$ F
Kapasitor $C_2$	470 $\mu$ F
Beban <i>output</i>	27 $\Omega$
Dioda	MUR860
Saklar statis	IRFP460N

#### 4.2.1 Pengujian Aktual dan Referensi pada Simulasi

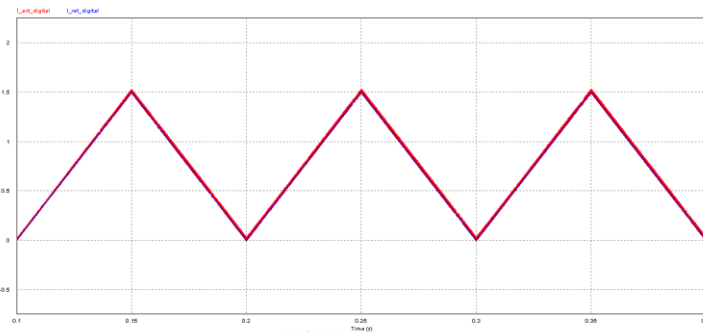
Pengujian awal kendali arus  $PI$  pada *cuk converter* dilakukan dengan melihat bentuk gelombang referensi dan aktual. Bentuk sinyal gelombang aktual harus mengikuti bentuk sinyal gelombang referensi yang diberikan. Hasil bentuk sinyal aktual dan bentuk sinyal referensi yang diberikan disajikan pada Gambar-4.2, Gambar-4.3 dan Gambar-4.4.



**Gambar-4.2 Sinyal aktual dan referensi sinyal kotak pada simulasi PSIM**



**Gambar-4.3 Sinyal aktual dan referensi sinyal sinus pada simulasi PSIM**



**Gambar-4.4 Sinyal aktual dan referensi sinyal segitiga pada simulasi *PSIM***

Dari hasil yang telah disajikan oleh Gambar-4.2, Gambar-4.3 dan Gambar-4.4 menunjukkan bahwa sinyal aktual (merah) dapat mengikuti sinyal referensi (biru) dalam bentuk sinyal kotak, sinyal referensi sinusoidal dan sinyal referensi segitiga, sehingga dapat dibuktikan bahwa proses pensaklaran pada kontrol arus metode *PI* pada *cuk converter* dapat diterapkan.

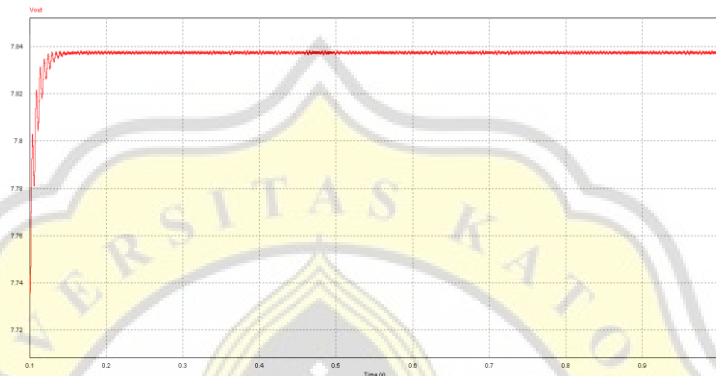
#### **4.2.2 Hasil Tegangan Keluaran pada Simulasi**

Setelah mengetahui bahwa hasil sinyal aktual dan referensi, maka dilakukan pengujian tegangan *output* kendali arus *PI* pada *cuk converter* dengan memberi sinyal referensi *DC*. Hasil pengujian tegangan *output* disajikan pada Gambar-4.6, Gambar-4.8 dan Gambar-4.10.



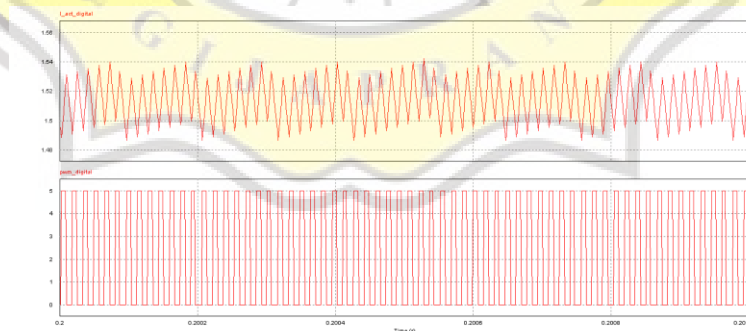
**Gambar-4.5 Simulasi sinyal (a) arus (b) *PWM* saat referensi 0.5 A**

Bentuk arus aktual dan *PWM* pada referensi 0.5 A ditunjukkan pada Gambar-4.5. Bentuk arus mengikuti proses *switching PWM*. Ketika sinyal *PWM* 0 V, maka arus akan turun dan ketika sinyal *PWM* 5 V, maka arus akan mengisi atau naik.



**Gambar-4.6 Tegangan output cuk converter dengan nilai referensi 0.5 A pada PSIM**

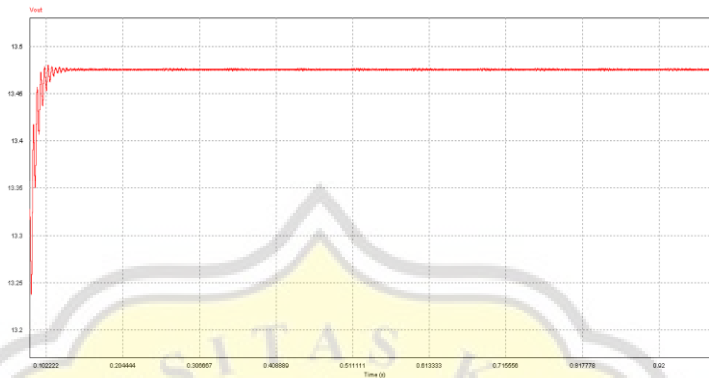
Hasil simulasi *PSIM* yang ditunjukkan pada Gambar-4.6 membuktikan dengan memberikan arus referensi sebesar 0.5 A dapat menghasilkan tegangan keluaran ( $V_{OUT}$ ) 7.83 V dengan tegangan masukan ( $V_{IN}$ ) sebesar 12 V sehingga terjadi proses *buck*.



**Gambar-4.7 Simulasi sinyal (a) arus (b) *PWM* saat referensi 1.5 A**

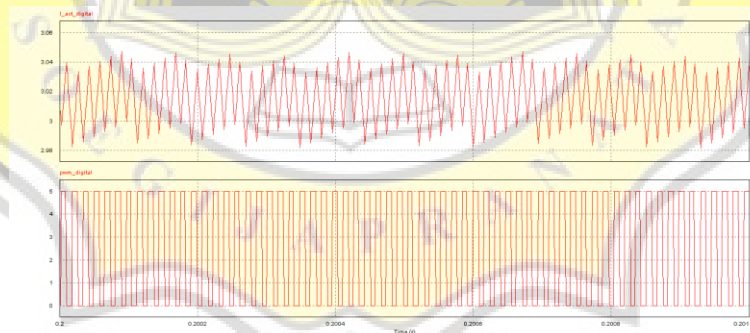
Bentuk arus aktual dan *PWM* pada referensi 1.5 A ditunjukkan pada Gambar-4.7. Bentuk arus mengikuti proses *switching PWM*. Ketika sinyal *PWM* 0

V, maka arus akan turun dan ketika sinyal *PWM* 5 V, maka arus akan mengisi atau naik.



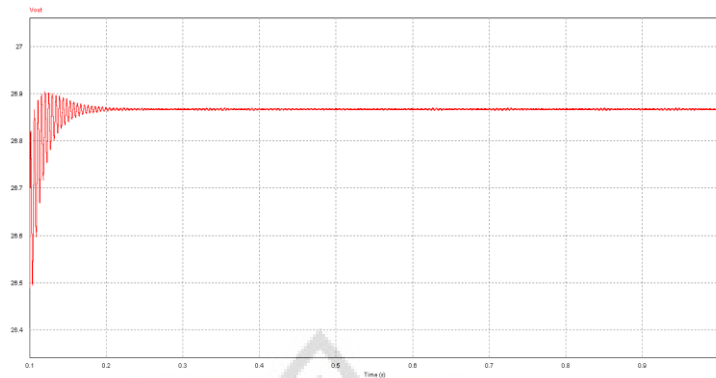
**Gambar-4.8** Tegangan *output cuk converter* dengan nilai referensi 1.5 A pada *PSIM*

Hasil simulasi *PSIM* yang ditunjukkan pada Gambar-4.8 membuktikan dengan memberikan arus referensi sebesar 1.5 A dapat menghasilkan tegangan keluaran ( $V_{OUT}$ ) 13.47 V dengan tegangan masukan ( $V_{IN}$ ) sebesar 12 V sehingga terjadi proses *boost*.



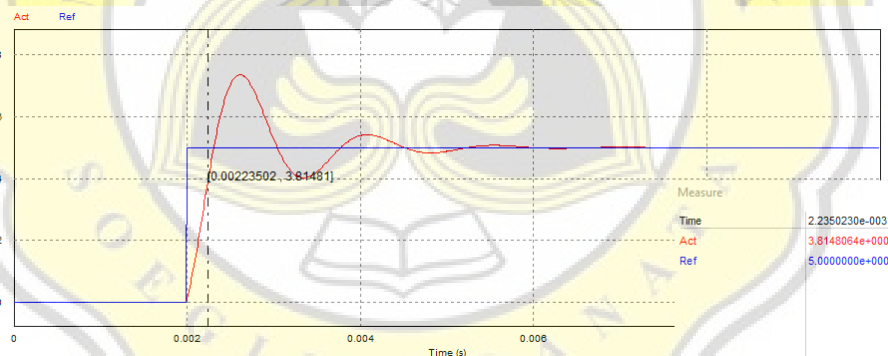
**Gambar-4.9** Simulasi sinyal (a) arus (b) *PWM* saat referensi 3 A

Bentuk arus aktual dan *PWM* pada referensi 3 A ditunjukkan pada Gambar-4.9. Bentuk arus mengikuti proses *switching PWM*. Ketika sinyal *PWM* 0 V, maka arus akan turun dan ketika sinyal *PWM* 5 V, maka arus akan mengisi atau naik.



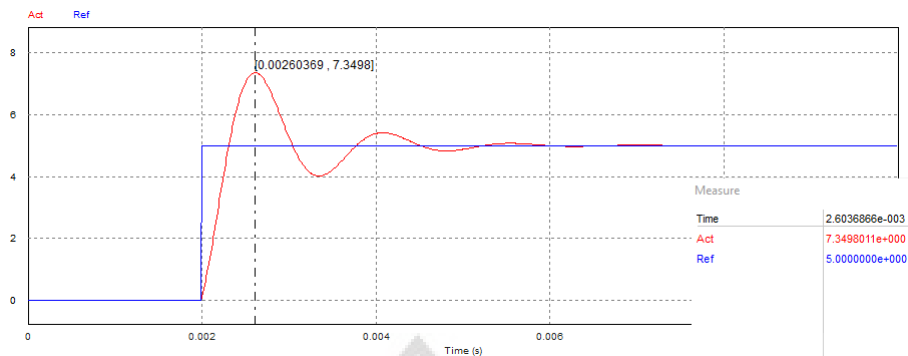
**Gambar-4.10 Tegangan *output cuk converter* dengan nilai referensi 3 A pada *PSIM***

Hasil simulasi *PSIM* yang ditunjukkan pada Gambar-4.10 membuktikan dengan memberikan arus referensi sebesar 3 A dapat menghasilkan tegangan keluaran ( $V_{OUT}$ ) 26.86 V dengan tegangan masukan ( $V_{IN}$ ) sebesar 12 V sehingga terjadi proses *boost*.



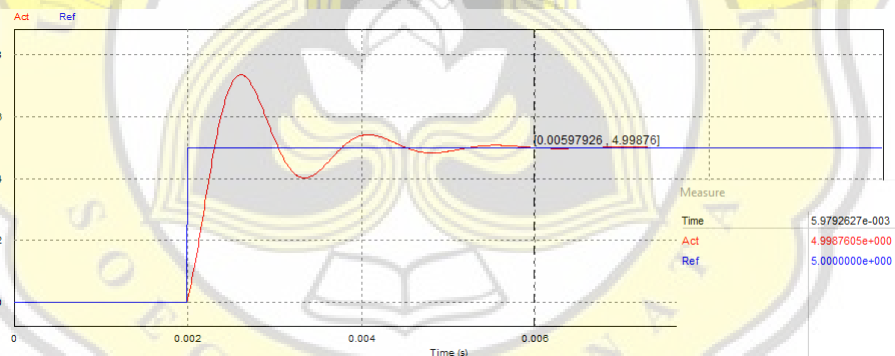
**Gambar-4.11 Karakteristik respon *rise-time* pada kendali**

Hasil simulasi *PSIM* yang ditunjukkan Gambar-4.11 merupakan hasil pengamatan respon kendali untuk karakteristik respon *rise time*. Waktu yang diperlukan oleh pengendali agar nilai aktual mencapai 90% dari nilai referensi adalah selama 2,23 ms.



**Gambar-4.12 Karakteristik respon *over shoot* pada kendali**

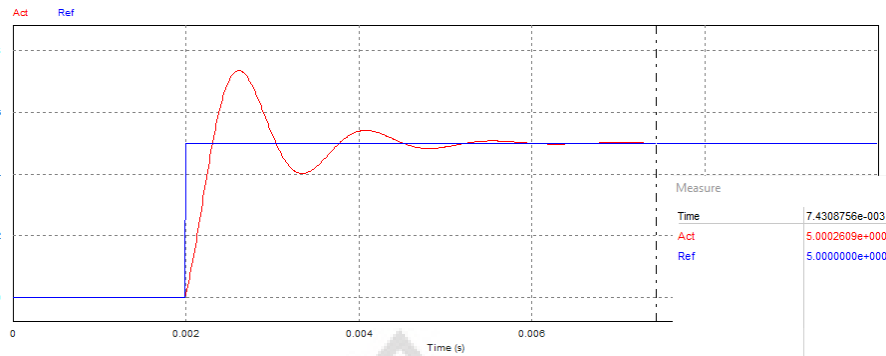
Hasil simulasi *PSIM* yang ditunjukkan Gambar-4.12 merupakan hasil pengamatan respon kendali untuk karakteristik respon *over shoot*. Nilai puncak dari sinyal aktual dibandingkan dengan nilai saat *kondisi steady state* adalah sebesar 7,35 A (*over shoot* 2,35A dari sinyal aktual *steady state* sebesar 5A)



**Gambar-4.13 Karakteristik respon *settling time* pada kendali**

Hasil simulasi *PSIM* yang ditunjukkan Gambar-4.13 merupakan hasil pengamatan respon kendali untuk karakteristik respon *settling time*. Waktu yang diperlukan oleh pengendali agar nilai aktual mencapai nilai referensi untuk kondisi tunak (prosentase +/-2%) adalah 5,98 ms.





**Gambar-4.14 Karakteristik respon *steady state* pada kendali**

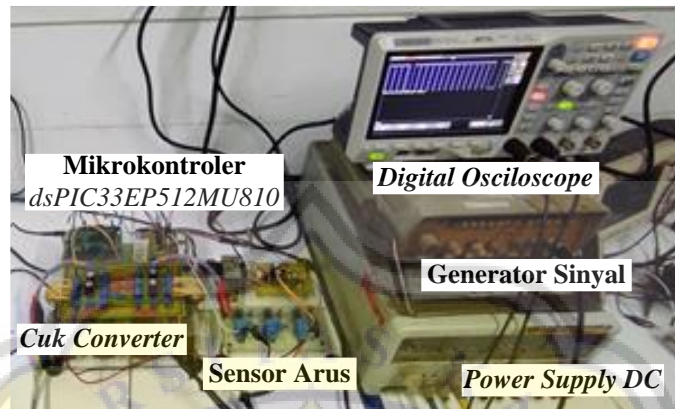
Hasil simulasi *PSIM* yang ditunjukkan Gambar-4.14 merupakan merupakan hasil pengamatan respon kendali untuk karakteristik respon *steady state*. Diperoleh selisih antara nilai aktual dan referensi pada kondisi tunak adalah 0 A. Dari seluruh nilai parameter karakteristik kendali sistem yang telah didapatkan, kendali arus menggunakan metode PI pada *cuk converter* telah berjalan dengan baik seperti yang diharapkan.

### **4.3. Hasil Pengujian Perangkat Keras**

Implementasi perangkat keras sistem kendali arus *PI* pada *cuk converter* disajikan pada Gambar-4.15 yang terdiri dari sumber *DC link*, rangkaian daya *cuk converter*, *digital signal controller dsPIC33EP512MU810*, rangkaian sensor arus *HX10-P/SP2*, sinyal generator dan osiloskop digital.

Hasil implementasi perangkat keras ditunjukkan pada Gambar-4.15. *Power supply DC* sebesar 12 V digunakan sebagai tegangan masukan *cuk converter* dan pensaklaran dikontrol oleh *digital signal* dari mikrokontroler *dsPIC33EP512MU810*. Sinyal *output* dari *cuk converter* dideteksi oleh sensor

arus *HX-10P/SP2* dan dikonversi menjadi hasil sinyal aktual. Pengaturan sinyal referensi variabel menggunakan perangkat modul generator sinyal.



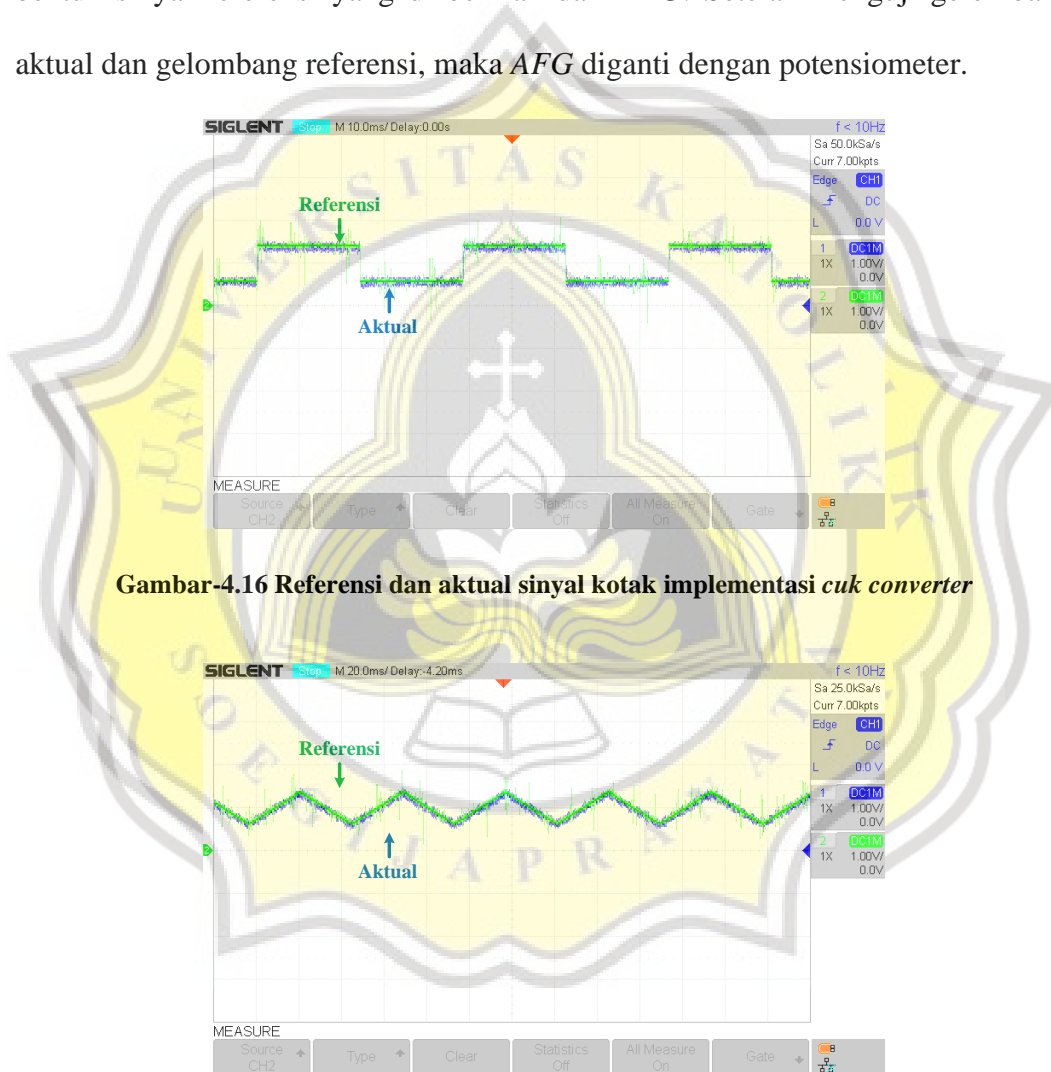
Gambar-4.15 Implementasi kendali *digital proportional-integral cuk converter*

#### 4.3.1 Pengujian Aktual dan Referensi pada Perangkat Keras

Tahap awal dalam proses implementasi perangkat keras adalah melihat sistem kendali arus yang dibuat pada osiloskop digital. Arus referensi didapatkan dari pembangkit *AFG* dengan frekuensi 10 Hz dan arus aktual dideteksi oleh sensor arus yang terhubung secara seri pada induktor pertama ( $L_1$ ). Selisih antara nilai arus referensi dan arus aktual akan menghasilkan nilai sinyal *error*. Sinyal *error* yang didapatkan akan dikendalikan dengan teknik kendali arus *PI* dengan nilai  $H_B$  5. Teknik kendali arus *PI* dapat dikatakan baik jika bentuk sinyal gelombang aktual mengikuti bentuk sinyal gelombang referensi yang diberikan *AFG*.

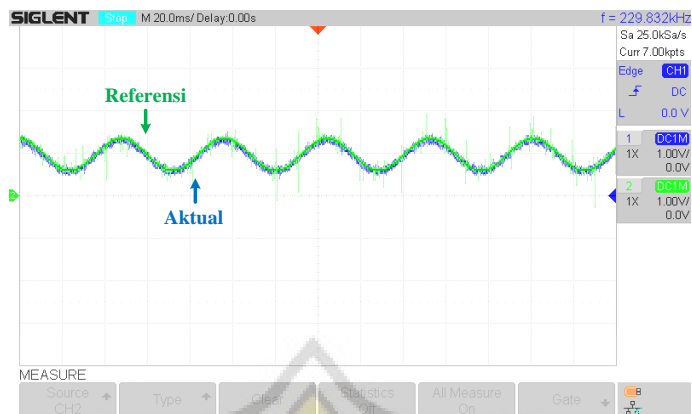
Pada Gambar-4.16 ditunjukkan perubahan bentuk gelombang kotak aktual dengan referensi sinyal yang diberikan oleh *AFG*. Pada *AFG* yang semula sinyal gelombang referensi kotak diubah menjadi bentuk segitiga. Bentuk gelombang aktual masih dapat mengikuti gelombang referensi yang diberikan. Gambar-4.17

menunjukkan sinyal referensi yang diberikan oleh *AFG* diubah menjadi bentuk sinyal sinusoidal. Hasil dari Gambar-4.16, Gambar-4.17 dan Gambar-4.18 dapat disimpulkan bahwa sistem kendali arus berjalan dengan baik dan bentuk gelombang aktual dapat mengikuti gelombang referensi meskipun diubah-ubah bentuk sinyal referensi yang di berikan dari *AFG*. Setelah menguji gelombang aktual dan gelombang referensi, maka *AFG* diganti dengan potensiometer.



**Gambar-4.16 Referensi dan aktual sinyal kotak implementasi *cuk* converter**

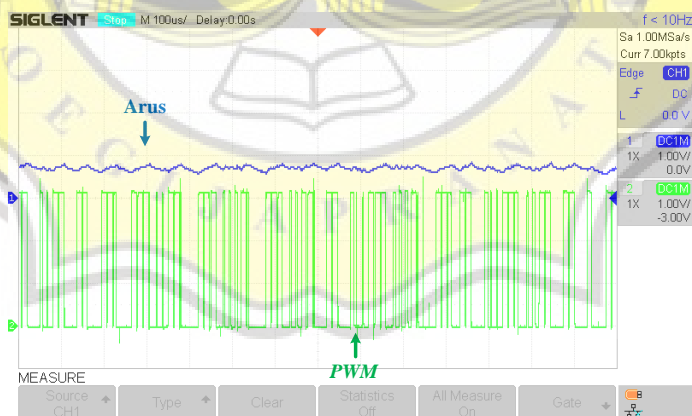
**Gambar-4.17 Referensi dan aktual sinyal segitiga implementasi *cuk* converter**



Gambar-4.18 Referensi dan aktual sinyal sinus implementasi *cuk converter*

### 4.3.2 Hasil Tegangan Keluaran pada Perangkat Keras

Pada pengujian hasil tegangan keluaran, *AFG* yang semula menjadi sinyal referensi digantikan dengan potensiometer 1K  $\Omega$ . Setelah *AFG* digantikan, maka dilakukan pengujian tegangan keluaran kendali arus pada konverter dengan cara pengaturan potensiometer agar mensaikan sinyal referensi DC 0.5 A, 1.5 A dan 3 A.



Gambar-4.19 Pengujian perangkat keras (a) arus (b) *PWM* pada referensi 0.5 A

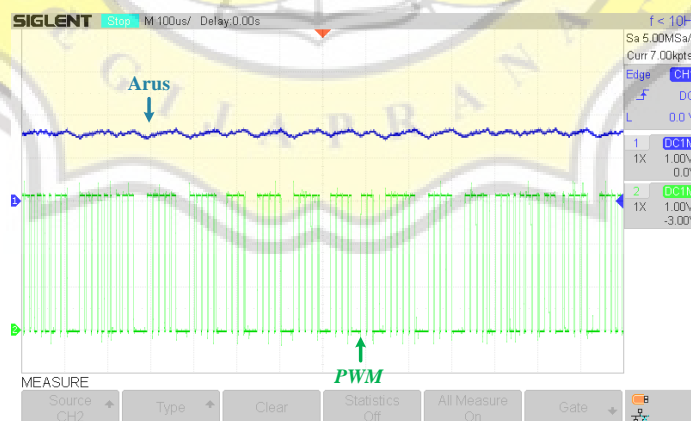
Gambar-4.19 ditunjukkan bentuk arus aktual dan *PWM* pada referensi 0.5 A pada perangkat keras. Bentuk arus mengikuti proses *switching PWM*. Ketika

sinyal *PWM* 0 V, maka arus akan turun dan ketika sinyal *PWM* 5 V, maka arus akan mengisi atau naik.



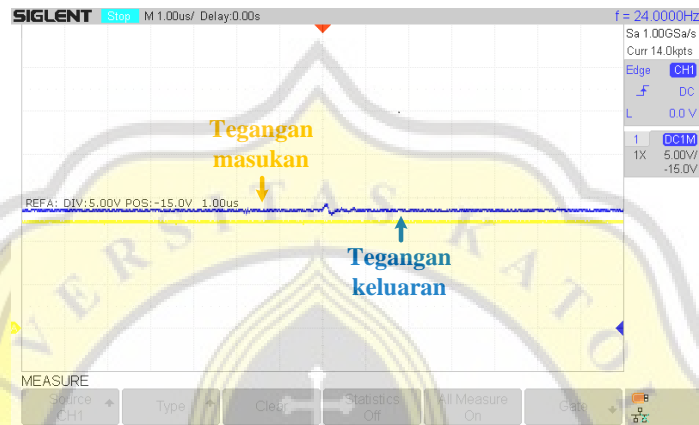
**Gambar-4.20** Pengujian perangkat keras (a) tegangan masukan (b) tegangan keluaran pada referensi 0.5 A

Hasil implementasi pengujian perangkat yang ditunjukkan pada Gambar-4.20 membuktikan dengan memberikan arus referensi 0.5 A dapat menghasilkan tegangan keluaran ( $V_{out}$ ) 10.53 V dengan tegangan masukan ( $V_{in}$ ) 12 V sehingga terjadi proses *buck*.



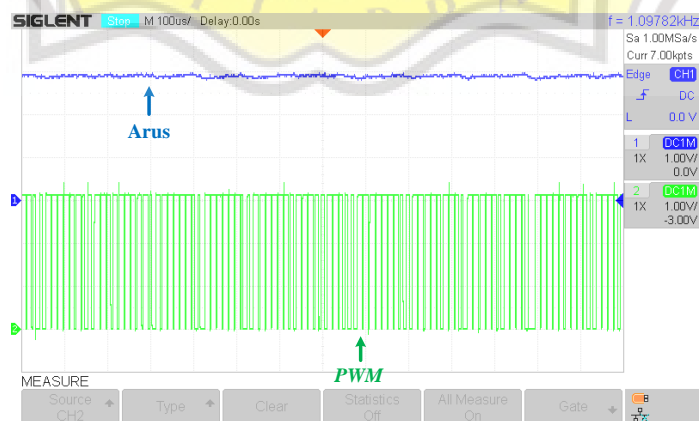
**Gambar-4.21** Pengujian perangkat keras (a) arus (b) *PWM* pada referensi 1.5 A

Gambar-4.21 ditunjukkan bentuk arus aktual dan PWM pada referensi 1.5 A pada perangkat keras. Bentuk arus mengikuti proses *switching* PWM. Ketika sinyal PWM 0 V, maka arus akan turun dan ketika sinyal PWM 5 V, maka arus akan mengisi atau naik.



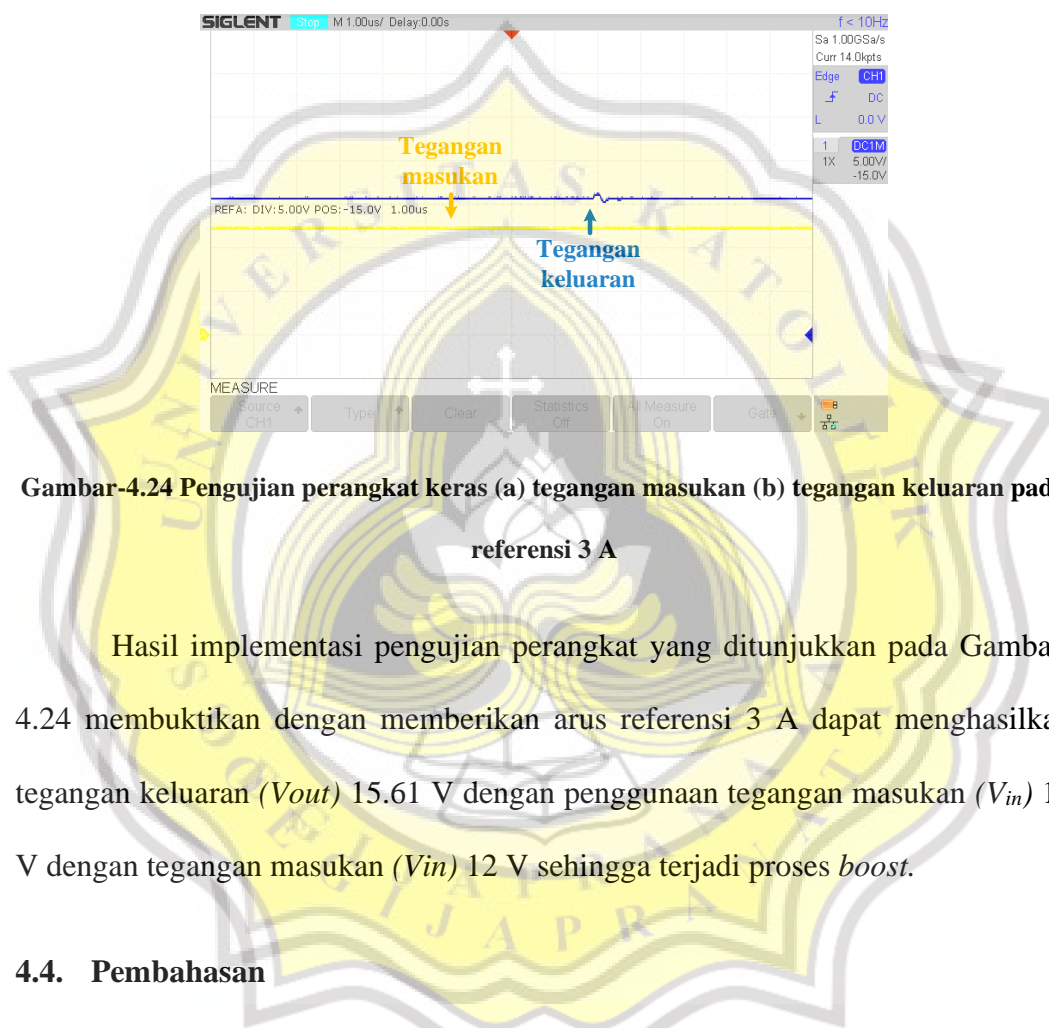
Gambar-4.22 Pengujian perangkat keras (a) tegangan masukan (b) tegangan keluaran pada referensi 1.5 A

Hasil implementasi pengujian perangkat yang ditunjukkan pada Gambar-4.22 membuktikan dengan memberikan arus referensi 1.5 A dapat menghasilkan tegangan keluaran ( $V_{out}$ ) 13.50 V dengan tegangan masukan ( $V_{in}$ ) 12 V sehingga terjadi proses *boost*.



Gambar-4.23 Pengujian perangkat keras (a) arus (b) PWM pada referensi 3 A

Gambar-4.23 ditunjukkan bentuk arus aktual dan PWM pada referensi 1.5 A pada perangkat keras. Bentuk arus mengikuti proses *switching* PWM. Ketika sinyal PWM 0 V, maka arus akan turun dan ketika sinyal PWM 5 V, maka arus akan mengisi atau naik.



**Gambar-4.24** Pengujian perangkat keras (a) tegangan masukan (b) tegangan keluaran pada referensi 3 A

Hasil implementasi pengujian perangkat yang ditunjukkan pada Gambar-4.24 membuktikan dengan memberikan arus referensi 3 A dapat menghasilkan tegangan keluaran ( $V_{out}$ ) 15.61 V dengan penggunaan tegangan masukan ( $V_{in}$ ) 12 V dengan tegangan masukan ( $V_{in}$ ) 12 V sehingga terjadi proses *boost*.

#### 4.4. Pembahasan

Sesudah pengujian desain dan implementasi *cuk converter* dengan kendali arus *PI* dilakukan simulasi dengan perangkat lunak *PSIM* dan implementasi perangkat keras dapat diamati bahwa implementasi dapat berkerja sesuai analisa dan teori yang telah disimulasikan. Perangkat keras mampu memiliki tegangan lebih kecil dan lebih besar dari tegangan sumber. Pada Gambar-4.2, Gambar-4.3,

Gambar-4.4, Gambar-4.16, Gambar-4.17, Gambar-4.18 disajikan bentuk sinyal gelombang aktual terhadap referensi yang telah diubah bentuk gelombangnya dan sinyal aktual mengikuti bentuk sinyal referensi yang diberikan yang artinya, algoritma kendali dapat berjalan dengan baik dan dapat diimplementasikan ke *cuk converter*. Pada Gambar-4.5, Gambar-4.7, Gambar-4.9, Gambar-4.19, Gambar-4.21, Gambar-4.23 disajikan bentuk arus pada simulasi dan implementasi perangkat keras. Bentuk arus dibentuk dari pensaklaran saklar semikonduktor oleh kendali histeresis dengan membandingkan nilai aktual yang dibaca oleh sensor arus dengan nilai referensi. Besar kecilnya bentuk gelombang didasari oleh nilai referensi yang diberikan. Pada simulasi, referensi didapatkan dari bentuk sinyal gelombang *step-voltage wave* lalu *C-Block* akan mendapatkan *template* sebagai referensi sedangkan pada implementasi perangkat keras, referensi didapatkan dari potensiometer 1K yang berbentuk gelombang *DC* murni lalu *digital signal controller dsPIC33EP512MU810* mendapatkan *template* sebagai referensi. Sedangkan keluaran sensor arus yang dipasang secara seri pada induktor pertama ( $L_1$ ) sebagai aktual arus sumber. Aktual dan referensi akan diproses oleh *digital signal controller dsPIC33EP512MU810* dengan kendali arus *PI* sehingga menghasilkan pola pensaklaran *PWM* dengan frekuensi yang tinggi. Pola pensaklaran dari *digital signal controller dsPIC33EP512MU810* akan diteruskan menuju *driver TLP250* untuk memicu pensaklaran pada *MOSFET IRFP460*.

Pada dasarnya, topologi *cuk converter* memiliki konsep seperti *buck-boost* konverter, tegangan keluaran dapat diatur lebih kecil atau lebih besar dari tegangan sumbernya. Untuk mengetahui batas kemampuan perangkat keras, maka



diaturlah nilai referensi dengan nilai nilai awal 0.5 A, 1.5 A dan 3 A sebagai nilai maksimai referensi. Pada nilai referensi 0.5 A tegangan keluaran mendapatkan nilai 10.53 V dibawah tegangan sumber 12 V. Hal ini membuktikan bahwa dengan referensi 0.5 A berlaku *buck*. Selanjutnya nilai referensi dinaikan menjadi 1.5 A dan didapatkan tegangan keluaran dengan nilai 13.50 V diatas tegangan sumber 12 V. Demi mengetahui batas maksimal maka nilai referensi dinaikan maksimal menjadi 3 A. Pada nilai referensi 3 A didapatkan tegangan keluaran dengan nilai 15.61 V diatas tegangan sumber 12 V. Hal ini membuktikan pada saat nilai referensi 1.5 A dan 3 A , *cuk converter* berlaku *boost* dengan tegangan keluaran yang lebih besar dari tegangan masukan. Pengujian perangkat keras dengan parameter beban dan tengangan sumber yang sama disaat nilai referensi 0.5 A, 1.5 A dan 3 A sehingga, pengaturan besar kecil nilai referensi mengakibatkan perubahan pada tegangan keluaran *cuk converter*

Dengan demikian dapat disimpulkan kendali arus menggunakan metode *PI* dapat diimplementasikan pada tolopogi *cuk converter*. Nilai referensi akan memaksa mengunci arus agar mendapatkan tegangan keluaran yang sesuai dengan nilai referensi yang diberikan. *Cuk converter* dapat berkerja menaikan dan menurunkan tegangan tanpa merubah polaritas sehingga membuat *cuk converter* memiliki efisiensi yang tinggi dan riak arus yang kecil sehingga daya yang dikirim pada sisi beban menjadi maksimal.