

PERANCANGAN *CURRENT LIMITER* SEBAGAI PROTEKSI SISTEM *CHARGING BATERAI*

Jessy Kris Dayanti^{*)}, Trias Andromeda dan Yuli Christyono

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: jessykris95@gmail.com

Abstrak

Sistem proteksi overcurrent sangat penting dalam sistem Hybrid Charger Controller terutama untuk melindungi catu daya yang terhubung dengan beban. Penggunaan beban yang besar dan saat terjadi hubung singkat mengakibatkan overcurrent yang dapat merusak perangkat pada sistem Hybrid Charger Controller. Salah satu alat proteksi overcurrent adalah current limiter. Current limiter berfungsi untuk membatasi arus beban sesuai dengan yang dirancang saat terjadi overcurrent dan hubung singkat. Kelebihan rangkaian current limiter yaitu mampu bekerja lebih cepat, lebih sederhana dan lebih ekonomis karena hanya menggunakan komponen bipolar junction transistor dan resistor. Pada Penelitian ini penulis merancang penerapan current limiter sebagai proteksi overcurrent pada sistem Hybrid Charger Controller. Pada Penelitian ini dilakukan tiga pengujian pada current limiter yang dibuat, yaitu pengujian arus keluaran kondisi normal, kondisi overcurrent dengan menggunakan variasi nilai beban resistor murni dan hubung singkat. Pengujian kondisi normal besar nilai arus yang dihasilkan berdasarkan besar nilai beban resistor. Pengujian kondisi overcurrent dan hubung singkat besar nilai arus keluaran yang dihasilkan oleh current limiter untuk beban 5 V_{DC} sebesar 0,23 A dan untuk beban 12 V_{DC} sebesar 0,45 A.

Kata kunci : Proteksi Overcurrent, Current limiter, Hybrid Charger Controller

Abstract

Overcurrent protection system is very important in the Hybrid Charger Controller system mainly to protect the power supply connected to the load. The use of a large load and when it occurs for excess current that can be used in the Hybrid Charger Controller system. One of the overcurrent protection devices is the current limiter. The current limit works to reflect the load in accordance with the one designed when there is overcurrent and short circuit. The advantage of the current limiter circuit is that it is able to work faster, more easily and more economically because it only uses the bipolar junction transistor and resistor components. In this Research the author uses a current limiter as overcurrent protection on the Hybrid Charger Controller system. In this final project, three parameters are made on the current limiting that is made, namely testing the normal conditions, overcurrent conditions using pure resistor load values and short circuit. Normal conditions large current values generated. Examination of excess current and short circuit large current value Output generated by current limiter for load 5 VDC is 0,23 A and for load 12 VDC is 0,45 A.

Keywords: Overcurrent protection, Current limiter, Hybrid Charger Controller

1. Pendahuluan

Kebanyakan peralatan-peralatan catu daya *modern* memiliki sistem proteksi *overcurrent* untuk melindungi rangkaian catu daya tersebut dari arus lebih yang disebabkan oleh beban yang berlebih. Namun demikian, sistem proteksi *overcurrent* pada rangkaian catu daya *modern* masih banyak yang menggunakan komponen yang seperti fuse dan relai karena tegangan catu daya yang berubah-ubah. Pada sistem *Hybrid Charger Controller* catu daya yang digunakan memiliki tegangan keluaran yang konstan yaitu dari baterai sebesar 12 V dan konverter *synchronous buck* sebesar 5 V. Sebagai jawaban terhadap masalah tersebut adalah dengan diimplementasikannya sistem proteksi

overcurrent yang berupa rangkaian *current limiter* dengan menggunakan resistor *current sense* dan *Bipolar Junction Transistor* (BJT) karena pada sistem *Hybrid Charger Controller* ini tegangan suplai beban tidak berubah-ubah. *Current limiter* dibuat untuk menciptakan sistem proteksi *overcurrent* yang lebih sederhana, mampu bekerja secara cepat dan lebih ekonomis, saat terjadi *overcurrent* akibat *overload* maupun hubung singkat.

Pembatas Arus Elektronik (*elektronik fuse*) digunakan di dalam sistem mikrosatelit berbasis komponen yang siap di pasaran (*Commercial off the Shelf*) dan dirancang memiliki keluwesan (*flexibility*) yang tinggi serta hasil rancangan menunjukkan bahwa rangkaian pembatas arus dapat

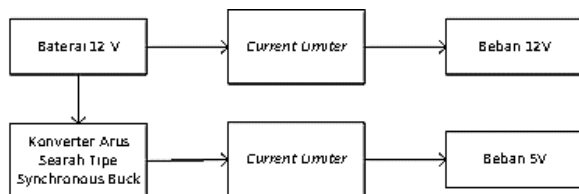
membatasi arus masing-masing perangkat sebesar 0,834 dan 1.833 Ampere[1]. *Foldback current limiter* bergerak sebagai respon terhadap arus yang ditarik oleh beban ketika ambang batas *current limiter* terlampaui[2]. *Current limiter* untuk *switching* catu daya regulator menjelaskan bahwa rangkaian tersebut sebagai sarana *sensing* arus yang melalui *switching transistor* dengan menggunakan resistor *current sense*[3].

Rangkaian *current limiter* menggunakan dua transistor yang dikonfigurasi sebagai pasangan diferensial, dikombinasikan dengan sumber arus tetap untuk membatasi arus yang tersedia ke transistor *pass* dari regulator tegangan[4]. *Current limiter* sangat berguna sebagai fitur keamanan dalam peralatan pengujian medis atau sejenisnya. Rangkaian tersebut terdiri dari transistor efek medan yang digabungkan secara seri dengan transistor efek medan pusat yang terbias menjadi konduksi. Transistor medan efek pusat lainnya digunakan untuk mengontrol tegangan drop yang melalui transistor efek medan pusat untuk konduksi[5].

2. Metode

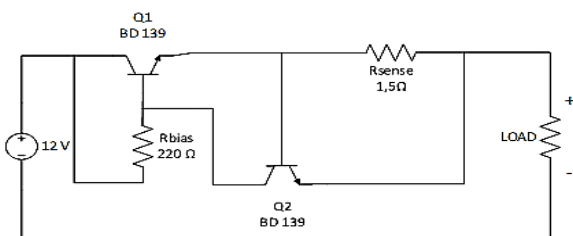
2.1. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan ini terdiri dari dua buah *current limiter* dengan batas masing-masing 0,25 A untuk beban 5 V dan 0,5 A untuk beban 12 V, berikut diagram blok skema secara keseluruhan perangkat keras *current limiter* pada sistem *Hybrid Charger Controller* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Blok Diagram Alat

2.2. Current limiter



Gambar 2. Rangkaian *current limiter*

Gambar 2 merupakan rangkaian *current limiter* pada Penelitian ini tersusun dari komponen-komponen berikut:

1. Sumber Tegangan DC (V_{in})

Sumber tegangan yang digunakan sebagai suplai

tegangan *current limiter* yang terhubung beban.

2. Bipolar Junction Transistor

Pada *Current limiter* ini, digunakan BJT tipe NPN sebagai komponen pensaklaran. BJT tipe NPN BD139 yang berfungsi sebagai saklar untuk membatasi arus.

3. Resistor

Resistor yang digunakan berfungsi untuk menghambat arus. Perhitungan resistor pada *current limiter* berdasarkan aliran arus dan hukum khirchoff tegangan. menggunakan persamaan hukum ohm sebagai berikut

2.2. Realisasi Rangkaian *Current limiter*

Pada penelitian ini, *current limiter* dibuat dengan menggunakan dua transistor dan resistor. Berikut perhitungan komponen *current limiter*.

2.2.1. Bipolar Junction Transistor

Pada *current limiter* ini, digunakan BJT tipe NPN sebagai komponen pensaklaran. BJT tipe NPN BD139 beroperasi dengan tegangan kolektor emiter saturasi (V_{CEsat}) maksimal 0,5V serta memiliki tegangan basis emiter (V_{BE}) 0,7V dan arus kolektor (I_C) maksimal 1,5A [12]. *Current limiter* membatasi arus beban 12 V sebesar 0,5A yang sumber tegangannya berasal dari baterai 12V. Selain tegangan masukan DC dari baterai, *current limiter* dengan batas 0,25A mendapat tegangan masukan dari konverter arus searah tipe Synchronous Buck sebesar 5V .

Arus DC maksimum BJT tipe NPN BD139 sebesar 1,5 A dinilai cukup aman dalam menahan arus sesuai dengan batas arus *current limiter* yang dirancang yaitu sebesar 0,5A untuk beban 12V dan 0,25A untuk beban 5V.

DC Current Gain (h_{FE}) atau penguatan arus yang disimbolkan dengan β adalah konstanta untuk suatu transistor, dimana besar β merupakan perbandingan antara nilai I_c dan nilai I_b biasanya berharga sekitar 100-200. Besar nilai β dapat dilihat pada *datasheet* transistor. Pada rangkaian *current limiter* besar nilai β digunakan untuk mencari besar margin atau batas arus I_b yang mengalir ke basis BJT BD139 untuk mengatur besar arus kolektor I_c yang mengalir menuju beban. Sehingga didapat perhitungan sebagai berikut.

a.) *Current limiter* untuk beban 12V batas 0,5 A

$$\beta = \frac{I_c}{I_b} \quad (1)$$

$$25 = \frac{500 \text{ mA}}{I_b}$$

$$I_b = \frac{500 \text{ mA}}{25}$$

$$I_b = 20 \text{ mA}$$

Untuk mengaktifkan transistor Q_2 maka memerlukan arus dua hingga tiga kali lipat dari besar arus I_b transistor Q_1 sehingga margin I_b yang digunakan sebesar 50 mA.

b.) *Current limiter* untuk beban 5 V_{DC} batas 0,25 A

$$\beta = \frac{I_c}{I_b}$$

$$95 = \frac{200mA}{I_b}$$

$$I_b = \frac{200mA}{95}$$

$$I_b = 2,6 \text{ mA}$$

Untuk mengaktifkan transistor Q₂ maka memerlukan arus dua hingga tiga kali lipat dari besar arus I_b transistor Q₁ sehingga margin I_b yang digunakan sebesar 6 mA.

Keterangan :

β : DC Current Gain (h_{FE})
 I_b : Arus Base (mA)
 I_c : Arus Collector (mA)

Pada perancangan current limiter ini juga mempertimbangkan total disipasi daya transistor, yaitu daya berupa panas yang terbuang sia-sia. Disipasi daya ini akan merusak transistor bila terlalu berlebihan, oleh sebab itu transistor diberi penamaan panas berupa (*heatsink*). Berikut perhitungan total disipasi daya pada perangkat current limiter ini [9]

Untuk current limiter beban 12 V batas 0,5 A, memiliki nilai I_b 50mA dan V_{CEsat} 0,5V, maka dapat dihitung nilai maksimum disipasi daya transistor sebagai berikut.

$$P_{tot} = P_B + P_C + P_{load} \quad (2)$$

$$P_{tot} = I_b V_{BE} + I_C V_{CEsat} + (V_{in} - V_{BE}) I_C$$

$$P_{tot} = 0,05 \cdot 0,7 + 0,5 \cdot 0,5 + (12 - 0,7) \cdot 0,5$$

$$P_{tot} = 0,035 + 0,25 + 5,65$$

$$P_{tot} = 5,935 \text{ Watt}$$

Untuk current limiter beban 5V batas 0,25 A, memiliki nilai I_b 6mA dan V_{CEsat} 0,12V, maka dapat dihitung nilai maksimum disipasi daya transistor sebagai berikut.

$$P_{tot} = P_B + P_C$$

$$P_{tot} = I_b V_{BE} + I_C V_{CEsat} + (V_{in} - V_{BE}) I_C$$

$$P_{tot} = 0,006 \cdot 0,7 + 0,25 \cdot 0,5 + (5 - 0,7) \cdot 0,25$$

$$P_{tot} = 0,0042 + 0,125 + 1,075$$

$$P_{tot} = 1,205 \text{ Watt}$$

Keterangan :

P_{tot} : Disipasi daya total (Watt)
 P_B : Disipasi daya base emiter (Watt)
 P_C : Disipasi daya base emiter (Watt)
 P_{Load} : Disipasi daya beban (Watt)

Dari perhitungan diatas maka penggunaan BJT NPN BD139 sebagai komponen aktif pada current limiter sudah tepat karena nilai disipasi daya yang digunakan harus kurang dari nilai disipasi daya yang tertera agar transistor tidak rusak akibat panas yang berlebih.

2.2.2. Resistor

Dalam kondisi normal dimana transistor Q₁ on dan transistor Q₂ off, maka didapat aliran arus input yaitu arus saat transistor off dan arus output yaitu dimana saat transistor on pada Q₁. Untuk mengaktifkan transistor membutuhkan tegangan V_{BE} sebesar 0,7 V karena berbahan silikon dan tegangan input pada rangkaian tersebut sebesar 12 V serta nilai I_b sebesar 50 mA. Dengan menggunakan hukum kirchoff tegangan maka didapat perhitungan sebagai berikut [9].

$$V_{in} - I_b R_{bias} - V_{BE} = 0 \quad (3)$$

$$R_{bias} = \frac{V_{in} - V_{BE}}{I_b}$$

$$R_{bias} = \frac{12 - 0,7V}{0,05 \text{ A}}$$

$$R_{bias} = 226 \Omega$$

Untuk membuat arus I_c lebih besar dari 0,5A dan mempertimbangkan ketersediaan resistor dipasaran, maka resistor yang digunakan bernilai 220 Ω.

Sedangkan untuk current limiter beban 5V dengan batas 0,25 A dapat menggunakan rumus yang sama, dan nilai I_b sebesar 6 mA maka didapat perhitungan R_{bias} sebagai berikut.

$$V_{in} - I_b R_{bias} - V_{BE} = 0$$

$$R_{bias} = \frac{V_{in} - V_{BE}}{I_b}$$

$$R_{bias} = \frac{5 - 0,7 \text{ V}}{0,006 \text{ A}}$$

$$R_{bias} = 716 \Omega$$

Untuk membuat arus I_c lebih besar dari 0,25A dan mempertimbangkan ketersediaan resistor dipasaran, maka resistor yang digunakan bernilai 680 Ω.

Pada rangkaian current limiter terdapat resistor yang berfungsi sebagai current sense (R_{sense}) yaitu memonitor arus I_c saat terjadi overcurrent yang melewati transistor Q₁ dan membuat transistor Q₂ on karena tegangan drop pada R_{sense} sama besarnya dengan tegangan V_{BE} transistor Q₂ yaitu 0.7 V.

Saat kondisi overcurrent, transistor Q₁ belum sepenuhnya dalam keadaan cut off atau full off ketika arus I_c yang besar melebihi nilai 0,5 A sehingga arus I_c masih mengalir menuju R_{sense} maka tegangan dititik antara basis Q₂ dan R_{sense} bernilai lebih dari 0,7 V. Hal ini membuat transistor Q₂ on dan transistor Q₁ off sehingga beberapa arus I_c akan mengalir dari kolektor transistor Q₂ melalui R_{bias} dan dialihkan ke ground serta menjaga tegangan basis transistor Q₂ kurang dari 0,7 V. Setelah tegangan pada titik antara basis transistor Q₂ dan R_{sense} kurang dari 0,7 V maka current limiter akan kembali bekerja normal dimana transistor Q₁ on dan transistor Q₂ off. Nilai R_{sense} dapat dihitung sebagai berikut.

$$R_{sense} = \frac{V_{BE} Q_2}{I_c} \quad (4)$$

$$R_{sense} = \frac{0,7V}{0,5A}$$

$$R_{sense} = 1,4 \Omega$$

Keterangan :
 R_{sense} : Resistor *current sense* (Ω)
 $V_{BE Q2}$: Tegangan basis emiter (V)
 I_c : Arus kolektor (A)

Untuk keamanan pengguna serta perangkat dan ketersediaan resistor dipasaran maka pada rangkaian *current limiter* untuk beban 12 V batas 0,5 A menggunakan resistor sebesar 1,5 Ω . Karena arus yang mengalir pada R_{sense} cukup besar maka harus mempertimbangkan daya pada resistor tersebut.

Resistor memiliki batas kemampuan daya yang berarti resistor hanya dapat dioperasikan dengan daya maksimal sesuai dengan kemampuan dayanya. Pada resistor *current sense* ini pemilihan daya resistor sangat penting agar resistor mampu menahan panas dari arus yang dihasilkan beban saat *overcurrent* maupun hubung singkat sehingga resistor tidak terbakar dan *current limiter* dapat bekerja sesuai dengan fungsinya.

Untuk besar arus 0,5 A dan nilai R_{sense} 1,5 Ω maka didapat perhitungan daya pada resistor sebagai berikut.

$$P = I_c^2 R_{sense}$$

(5)

$$P = 0,5^2 \cdot 1,5$$

$$P = 0,375 \text{ Watt}$$

Keterangan :
P : Daya resistor (Watt)
 R_{sense} : Resistor *current sense* (Ω)
 I_c : Arus kolektor (A)

Untuk menghindari panas yang berlebih dan kerusakan pada resistor maka digunakan resistor dengan daya 5 Watt. Sedangkan untuk rangkaian *current limiter* beban 5 V batas 0,25 A besar nilai R_{sense} dengan rumus yang sama dapat dihitung sebagai berikut.

$$R_{sense} = \frac{V_{BE Q2}}{I_c}$$

$$R_{sense} = \frac{0,7V}{0,3A}$$

$$R_{sense} = 2,8 \Omega$$

Untuk keamanan pengguna serta perangkat dan ketersediaan resistor dipasaran maka pada rangkaian *current limiter* untuk beban 5 V batas 0,25 A menggunakan resistor sebesar 2,7 Ω . Karena arus yang mengalir pada R_{sense} cukup besar maka harus mempertimbangkan daya pada resistor tersebut. Untuk besar arus 0,25 A dan nilai R_{sense} 3,3 Ω maka didapat perhitungan daya pada resistor sebagai berikut.

$$P = I_c^2 R_{sense}$$

$$P = 0,25^2 \cdot 3,3$$

$$P = 0,206 \text{ Watt}$$

Untuk menghindari panas yang berlebih dan kerusakan pada resistor maka digunakan resistor dengan daya 5 Watt. Untuk mencari nilai beban minimum R_{load} dalam kondisi normal maka dapat dihitung dengan persamaan hukum *kirchoff* tegangan berdasarkan aliran arus output transistor Q_1 .

Diketahui nilai V_{CEsat} saat I_c sama dengan 0,5 A sebesar 0,5 V [12] dan maka didapat hasil perhitungan sebagai berikut.

a.) *Current limiter* untuk beban 12 V_{DC} batas 0,5 A

$$V_{in} - V_{CE(sat)} - I_c R_{sense} - I_c R_{load} = 0$$

(6)

$$12 - 0,5 - 0,5 \cdot 1,5 - 0,5 R_{load} = 0$$

$$0,5 R_{load} = 12 - 0,5 - 0,5 \cdot 1,5$$

$$0,5 R_{load} = 10,75 V$$

$$R_{load} = \frac{10,75 V}{0,5 A}$$

$$R_{load} = 21,5 \Omega$$

Sedangkan untuk *current limiter* batas 0,25 A memiliki nilai V_{CEsat} sebesar 120mV [12] maka didapat hasil perhitungan sebagai berikut.

b.) *Current limiter* untuk beban 5 V_{DC} batas 0,25 A

$$V_{in} - V_{CE(sat)} - I_c R_{sense} - I_c R_{load} = 0$$

$$5 - 0,12 - 0,25 \cdot 3,3 - 0,25 R_{load} = 0$$

$$0,25 R_{load} = 5 - 0,12 - 0,25 \cdot 3,3$$

$$0,25 R_{load} = 4,055 V$$

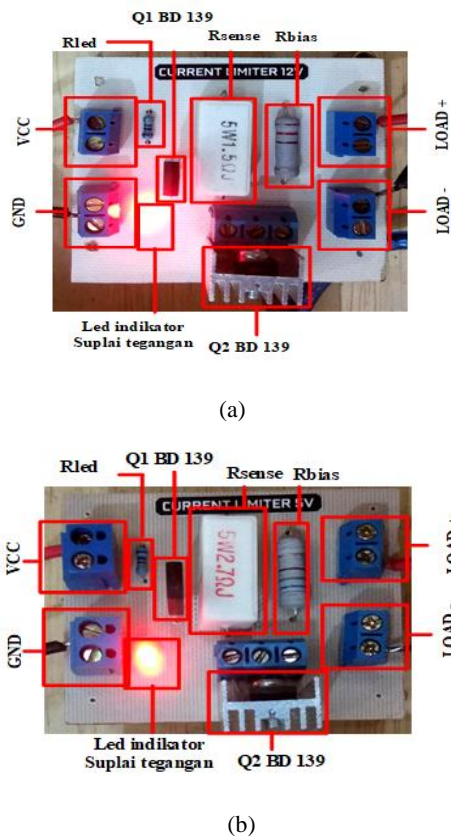
$$R_{load} = \frac{4,055 V}{0,25 A}$$

$$R_{load} = 16,22 \Omega$$

Keterangan :
 V_{DC} : Tegangan *input* (V)
 I_c : Batas arus *current limiter* (A)
 R_L : Resistor beban (Ohm)

Dari perhitungan nilai beban R_{load} minimum saat kondisi normal untuk beban 12V sebesar 22 Ω dan untuk beban 5V sebesar 18 Ω .

Berikut ini adalah realisasi rangkaian *current limiter* dengan batas arus 0,5 A dan 0,25 A yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. (a) Realisasi *Current limiter* beban 12 V batas 0,5 A
(b) Realisasi *Current limiter* beban 5 V batas 0,25 A

3. Hasil dan Analisa

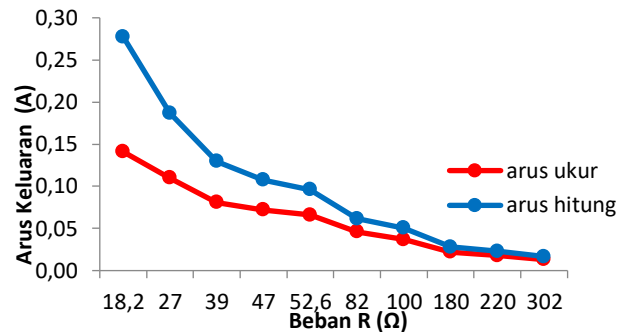
3.1. Pengujian Arus Keluaran Kondisi Normal

Pada pengujian ini, data diambil dengan menggunakan beban berupa resistor murni yang memiliki nilai lebih besar dari 18 Ω untuk *current limiter* dengan batas 0,25 A dan resistor dengan nilai lebih besar dari 20 Ω untuk *current limiter* dengan batas 0,5 A. Arus keluaran *current limiter* diukur menggunakan multimeter DM-133D dengan probe arus dihubungkan seri dengan beban resistor murni.

Tabel 1. Data *Current limiter* batas 0,25 A kondisi normal

No	Beban R (Ω)	Tegangan (V)	Arus (A)	
			lukur	hitung
1	18,2	5,05	0,14	0,28
2	27	5,05	0,11	0,19
3	39	5,05	0,08	0,13
4	47	5,05	0,07	0,11
5	52,6	5,05	0,06	0,10
6	82	5,05	0,05	0,06
7	100	5,05	0,04	0,05
8	180	5,05	0,02	0,03
9	220	5,05	0,02	0,02
10	302	5,05	0,01	0,02

Berdasarkan data pada tabel 1 dapat dilihat bahwa *current limiter* dengan batas 0,25 A dengan tegangan input sebesar 5,05 VDC dapat bekerja dengan baik saat kondisi normal. Terdapat eror nilai arus terukur dan arus terhitung sebesar 0.01 A. Berikut adalah grafik hubungan arus dengan besar beban resistor murni.



Gambar 4. Grafik hubungan arus dengan beban pada *Current limiter* batas 0,25 A

Pada gambar 4 didapat bahwa *current limiter* dengan batas 0,25 A bekerja dengan baik dimana besar nilai arus beban berdasarkan besar beban resistor yang terpasang. Hal ini sudah sesuai dengan hukum ohm yaitu dengan nilai tegangan yang sama dan semakin besar nilai beban resistor maka semakin kecil arus yang mengalir melalui beban resistor tersebut.

Berikut data hasil pengujian *Current limiter* dengan batas 0,5 A dalam kondisi beban normal.

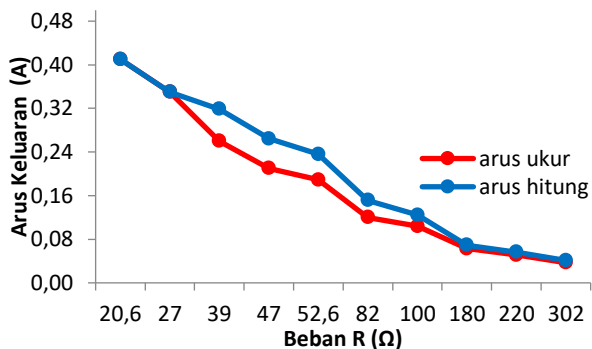
Tabel 2. Data *Current limiter* batas 0,5 A kondisi normal

No	Beban R (Ω)	Tegangan (V)	Arus (A)	
			lukur	hitung
1	20,6	12,42	0,41	0,41
2	27	12,42	0,35	0,35
3	39	12,42	0,26	0,32
4	47	12,42	0,21	0,26
5	52,6	12,42	0,19	0,24
6	82	12,42	0,12	0,15
7	100	12,42	0,10	0,12
8	180	12,42	0,06	0,07
9	220	12,42	0,05	0,06
10	302	12,42	0,04	0,04

Berdasarkan data pada tabel 2 dapat diketahui bahwa *current limiter* dengan batas 0,5 A dengan tegangan input 12,42 VDC dapat bekerja dengan baik saat kondisi normal. Terdapat eror nilai arus terukur dan arus terhitung sebesar 0.02 A. Berikut adalah grafik hubungan arus dengan besar beban resistor murni.

Pada gambar 5 didapat bahwa *current limiter* dengan batas 0,5 A bekerja dengan baik dimana besar nilai arus beban berdasarkan besar beban resistor yang terpasang. Hal ini sudah sesuai dengan hukum ohm yaitu dengan nilai tegangan yang sama dan semakin besar nilai beban resistor

maka semakin kecil arus yang mengalir melalui beban resistor tersebut [10].



Gambar 5. Grafik hubungan arus dengan beban pada *Current limiter* batas 0,5 A

3.1. Pengujian Arus Keluaran Kondisi *Overcurrent*

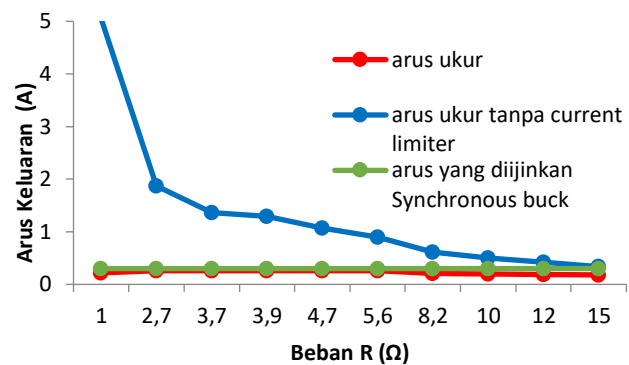
Pada pengujian ini, data diambil dengan menggunakan beban berupa resistor murni yang memiliki nilai kurang dari 18 Ω untuk *current limiter* beban 5 V_{DC} dengan batas 0,25 A dan resistor murni dengan nilai kurang dari 20 Ω untuk *current limiter* beban 12 V_{DC} dengan batas 0,5 A. Nilai arus keluaran *current limiter* diukur menggunakan multimeter DM-133D dengan probe arus dihubung seri dengan beban resistor murni. Berikut merupakan data yang diambil pada *Current limiter* dalam kondisi *overcurrent*.

Tabel 3. Data *Current limiter* batas 0,25 A kondisi *overcurrent*

No	Beban R (Ω)	Tegangan (V)	Arus (A)	
			<i>I</i> _{ukur}	<i>I</i> _{ukur tanpa current limit}
1	1	5,05	0,22	5,05
2	2,7	5,05	0,26	1,87
3	3,7	5,05	0,26	1,36
4	3,9	5,05	0,26	1,29
5	4,7	5,05	0,26	1,07
6	5,6	5,05	0,26	0,90
7	8,2	5,05	0,21	0,62
8	10	5,05	0,20	0,51
9	12	5,05	0,19	0,42
10	15	5,05	0,18	0,34

Berdasarkan pada tabel 3 dapat dilihat bahwa rangkaian *current limiter* untuk beban 5 V_{DC} saat kondisi *overcurrent* mampu membatasi arus sebesar 0,23 A. Terdapat eror sebesar 0.02 A pada arus limit yang dirancang dengan arus *limit* yang terukur. Hal ini disebabkan oleh resistor yang digunakan memiliki nilai toleransi. Nilai arus *current limiter* sudah sesuai dengan arus batas yang telah dirancang dengan kemampuan konverter arus searah tipe *synchronous buck* yaitu sebesar 0,3 A, ini membuktikan bahwa perhitungan komponen sudah sesuai dengan perancangan *current limiter* yang dibuat.

Berikut merupakan grafik *Current limiter* dengan batas 0,25A.



Gambar 6. Grafik *Current limiter* 0,25 A

Pada gambar 6 dapat diketahui bahwa arus hitung merupakan representasi dari arus beban yang sesungguhnya. Dari gambar grafik 6 dapat dilihat bahwa saat kondisi *overcurrent* yaitu variasi nilai beban resistor kurang dari 18 Ω, *current limiter* untuk beban 5 V_{DC} mampu membatasi arus sebesar 0,23 A. Hal ini menunjukkan bahwa *current limiter* bekerja dengan baik dan sudah sesuai dengan batas yang dirancang yaitu sebesar 0,25 A sehingga mampu memproteksi konverter arus searah tipe *synchronous buck* saat terjadi *overcurrent*.

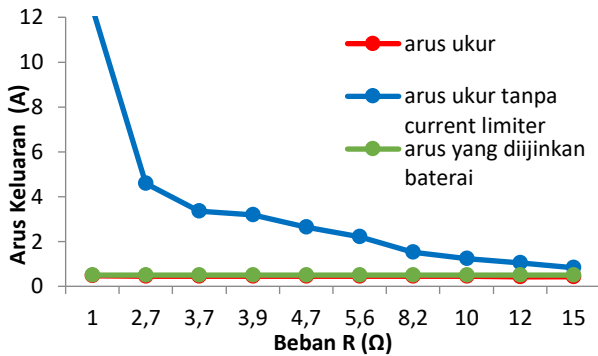
Berikut data hasil pengujian *Current limiter* dengan batas 0,5 A dalam kondisi beban *overcurrent*

Tabel 4. Data *Current limiter* batas 0,5 A kondisi *overcurrent*

No	Beban R (Ω)	Tegangan (V)	Arus (A)	
			<i>I</i> _{ukur}	<i>I</i> _{ukur tanpa current limit}
1	1	12,42	0,47	12,42
2	2,7	12,42	0,46	4,60
3	3,7	12,42	0,46	3,36
4	3,9	12,42	0,46	3,18
5	4,7	12,42	0,46	2,64
6	5,6	12,42	0,46	2,22
7	8,2	12,42	0,45	1,51
8	10	12,42	0,44	1,24
9	12	12,42	0,42	1,04
10	15	12,42	0,43	0,83

Berdasarkan pada tabel 4 dapat dilihat bahwa rangkaian *current limiter* untuk beban 12 V_{DC} saat kondisi *overcurrent* mampu membatasi arus sebesar 0,45 A. Terdapat eror sebesar 0.05 A pada arus *limit* yang dirancang dengan arus *limit* yang terukur. Hal ini disebabkan oleh resistor yang digunakan memiliki nilai toleransi. Nilai arus *current limiter* sudah sesuai dengan arus batas yang telah dirancang dengan kemampuan baterai serta perangkat yang terhubung dengan baterai yaitu sebesar 0,5 A, ini membuktikan bahwa perhitungan komponen sudah sesuai dengan perancangan *current limiter* yang dibuat.

Berikut merupakan grafik *current limiter* dengan batas 0,5 A.



Gambar 7. Grafik *Current limiter* 0,5 A

Pada gambar 7 dapat diketahui bahwa arus hitung merupakan representasi dari arus beban yang sesungguhnya. Dari gambar grafik 7 dapat dilihat bahwa saat kondisi *overcurrent* yaitu variasi nilai beban resistor kurang dari 20 Ω, *current limiter* untuk beban 12 V_{DC} mampu membatasi arus sebesar 0,45 A. Hal ini menunjukkan bahwa *current limiter* bekerja dengan baik dan sudah sesuai dengan batas yang dirancang yaitu sebesar 0,5 A sehingga mampu memproteksi baterai serta perangkat lain yang terhubung dengan baterai saat terjadi *overcurrent*

3.2. Pengujian Arus Keluaran Hubung Singkat

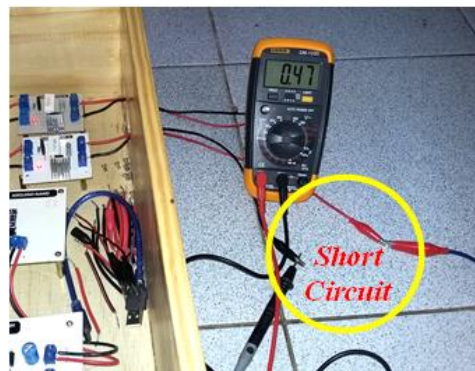
Pada pengujian ini, sistem *Hybrid Charger Controller* dalam kondisi bekerja dimana semua perangkat konverter arus searah pada sistem *Hybrid Charger Controller* terhubung pada catudaya baterai, sedangkan pada sisi beban 5 V_{DC} dan 12 V_{DC} dipasang jumper yang dihubungkan sisi positif dan negatifnya sehingga rangkaian *current limiter* menjadi *short circuit*. Berikut merupakan gambar *Current limiter* 0,25 A saat diuji *short circuit*.



Gambar 8. Data *Current limiter* batas 0,25 A kondisi hubung singkat

Pada gambar 8 dengan tegangan *input* sebesar 5,05 V_{DC} saat rangkaian *current limiter* dalam kondisi *short circuit* arus keluaran *current limiter* terukur sebesar 0,23A. Besar arus yang terukur pada *current limiter* sesuai dengan besar batas arus yang telah dirancang untuk beban 5 V_{DC} yaitu sebesar 0,25 A. Hal ini menunjukkan bahwa *current limiter* dapat bekerja saat terjadi hubung singkat sehingga dapat mencegah kerusakan perangkat konverter arus searah tipe *synchronous buck* akibat arus hubung singkat.

Berikut merupakan gambar data *current limiter* 0,5 A saat kondisi hubung singkat



Gambar 9. Data *Current limiter* batas 0,5A kondisi hubung singkat

Pada gambar 9 dengan tegangan *Input* sebesar 12,42 V_{DC} saat rangkaian *current limiter* dalam kondisi *short circuit* arus keluaran *current limiter* terukur sebesar 0.47 A. Besar arus yang terukur pada *current limiter* sesuai dengan besar batas arus yang telah dirancang untuk beban 12 V_{DC} yaitu sebesar 0,5 A. Hal ini menunjukkan bahwa *current limiter* dapat bekerja saat terjadi hubung singkat sehingga dapat mencegah kerusakan baterai serta perangkat lain yang terhubung dengan baterai akibat arus hubung singkat.

4. Kesimpulan

Rangkaian *current limiter* telah berhasil dibuat yaitu untuk beban 5 V_{DC} batas 0,25 A dan beban 12 V_{DC} batas 0,5 A. Pada pengujian kondisi normal dengan nilai resistor lebih dari 16 Ω untuk *current limiter* batas 0,25 A dan nilai resistor lebih dari 20 Ω untuk *current limiter* dengan batas 0,5 A, arus keluaran *current limiter* memiliki besar nilai berdasarkan nilai beban resistor (Ω) yaitu semakin besar nilai resistor maka arusnya akan semakin kecil. sesuai dengan perhitungan menggunakan hukum ohm dengan eror 0,01 A untuk *current limiter* 0,25 A dan eror sebesar 0.02 A untuk *current limiter* 0,5 A. Pada pengujian kondisi *overcurrent* dengan nilai beban resistor lebih kecil dari beban resistor saat kondisi normal yaitu kurang dari 18 Ω untuk *current limiter* beban 5 V_{DC} batas 0,25 A dan kurang dari 20 Ω untuk *current limiter* beban 12 V_{DC} batas 0,5 A, besar arus keluaran *current limiter* untuk beban 5 V_{DC} sebesar 0,23 A dengan eror sebesar 0.02 A dan untuk

current limiter untuk beban 12 V_{DC} memiliki nilai arus keluaran sebesar 0.45A dengan eror sebesar 0.05 A. Arus keluaran *current limiter* sudah sesuai dengan batas arus yang di rancang sesuai kemampuan konverter *synchronous buck* dan baterai serta perangkat yang terhubung dalam menahan arus. Pada pengujian kondisi hubung singkat besar nilai *current limiter* sesuai dengan batas yang telah dirancang yaitu sebesar 0,23 A dan 0.47 A. Sehingga *current limiter* mampu melindungi perangkat keras *synchronous buck* serta baterai dan perangkat lainnya yang terhubung dengan baterai saat terjadi hubung singkat.

Referensi

- [1] A. Karim and W. Hasbi, *Rancang Bangun Sistem Adjustable Electronic Fuse Untuk Platform Microsatellite (Adjustable Electronic Fuse System Design For Microsatellite Platform)*, pp. 73–81.
- [2] Muterspaugh, Max W. *Dual Voltage Regulator With Foldback Current Limiting*. United States Patent 5,578,916. 26 November 1996.
- [3] Nesler, John J. *Overcurrent limiter Circuit For Switching Regulator Power Supplies*. Los Angeles Paten 4,428,015. 24 January 1984.
- [4] D. A. C. G.G. Liversidge, K.C. Cundy, J.F. Bishop, “United States Patent (19) 54,” vol. 96, no. 19, pp. 62–66, 1980.
- [5] Lombardi, Carl A. *Current Limiter Circuit*. Los United States Patent 3,521,087. 21 Juli 1970.
- [6] J. Badham, *Short Circuit, Book*, 1986.
- [7] H. D. Surjono and D. Ph, *Elektronika : Teori dan Penerapan*. Jember, Jawa Timur : Penerbit Cerdas Ulet Kreatif, 2007.
- [8] J. Ahmad, “Elektronika Dasar 1,” *Elektron. Dasar I*, pp. 1–68, 2007.
- [9] Malvino, Albert and David Bates. *Electronic Principles*. United States of America: McGraw-Hill Education, 2016
- [10] R. C. Dorf, *The electrical engineering handbook*. 2000.
- [11] N. Sclater and E. J. Traister, *Handbook of Electrical Design Details*. 2003.
- [12] Fairchild Semiconductor. “BD135/137/139 NPN Epitaxial Silicon Transistor.” *Fairchild Semiconductor Corporation*. Agustus 2013. www.fairchildsemi.com (diakses maret 2018).