



Sekutu Emitor Dua Tahap dan Resistor Daya sebagai Detektor Arus pada Sistem Proteksi Arus Analog

Dwi Novianto*, R. Rizal Isnanto, Sapto Nisworo

Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

*Corresponding author: nopi_jte@untidar.ac.id

(Received: March 27, 2024; Accepted: April 19, 2024)

Abstract

Two-Stage Emitter Ally and Power Resistor as Current Detector in Analog Current Protection System. The focus of this research is Dual Voltage Bench Power Supply Protection System which is used to carry out an experiment in a research project or practicum in the learning process. The average table power supply sold on the market is capable of delivering 3A to 10A current due to its wide use. The ability to transmit fairly high currents must be accompanied by a current protection system. Current protection systems can be designed digitally or analog. Both have their respective strengths and weaknesses. However, analog current protection systems are more popular because if damage occurs, users can repair it easily because it does not involve a coding process. One of the sensors which is popular and easy to find on the market and reliable is a $0.1\Omega/100W$ power resistor connected in parallel series. The voltage generated from the resistor is used to bias the two-stage Common Emitter circuit with the 2N3904 transistor. The second stage of Common Emitter circuit is used as a switch to activate the LY214 relay. Because the power resistor used has a small resistance value but is used to protect large currents, the calculations in the component value selection process must be considered. These calculations will be discussed in this article in detail. Apart from calculations, determining the PCB path width must also comply with standards. The standard that will be used is the IPC Standard. From the calculations, a reliable protection system is obtained that can distribute a maximum current of 10A with a system power supply between 26V and 60V. Apart from that, the components chosen are components that are easy to find on the market, making maintenance easier if damage occurs.

Keywords: protection, current, standart, IPC

Abstrak

Fokus penelitian ini adalah sistem proteksi Catu Daya Meja tegangan ganda yang digunakan untuk melakukan sebuah percobaan pada suatu proyek penelitian ataupun praktikum pada proses pembelajaran. Catu Daya Meja yang dijual di pasaran rata-rata mampu menyalurkan arus 3A hingga 10A karena penggunaannya yang luas. Kemampuan menyalurkan arus yang cukup tinggi harus disertai dengan sistem proteksi arus. Sistem proteksi arus dapat dirancang secara digital ataupun analog. Keduanya mempunyai kelemahan dan kelebihan masing-masing. Namun sistem proteksi arus analog lebih populer karena apabila terjadi kerusakan, pengguna dapat memperbaikinya dengan mudah karena tidak melibatkan proses pengkodean. Salah satu sensor yang populer dan mudah ditemukan di pasaran serta handal adalah resistor daya $0,1\Omega/100W$ yang dirangkai secara seri paralel. Tegangan yang dihasilkan dari resistor tersebut digunakan untuk membias rangkaian sekutu emitor dua tahap dengan transistor 2N3904. Rangkaian sekutu emitor tahap ke-dua digunakan sebagai saklar untuk mengaktifkan relay LY214. Karena resistor daya yang digunakan mempunyai nilai hambatan kecil namun dipergunakan untuk memproteksi arus yang besar, maka

perhitungan pada proses pemilihan nilai komponen harus diperhatikan. Perhitungan tersebut akan dibahas pada artikel ini secara terperinci. Selain perhitungan, penentuan lebar jalur PCB juga harus sesuai standar. Standar yang akan digunakan adalah Standar IPC. Dari perhitungan diperoleh sistem proteksi handal yang dapat menyalurkan arus maksimal 10A dengan catu daya sistem antara 26V hingga 60V. Selain itu, komponen yang dipilih adalah komponen yang mudah ditemukan di pasaran sehingga mempermudah perawatan jika terjadi kerusakan.

Kata kunci: proteksi, arus, standar, IPC

How to Cite This Article: Novianto, D., Isnanto, R. R., Nisworo, S. (2024). Sekutu Emitor Dua Tahap dan Resistor Daya sebagai Detektor Arus pada Sistem Proteksi Arus Analog. *JPII*, 2(2), 91-98. DOI: <https://doi.org/10.14710/jpii.2024.24264>

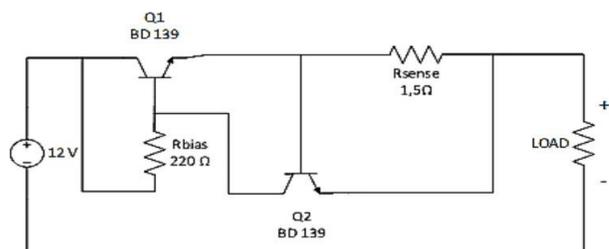
PENDAHULUAN

Sistem proteksi arus merupakan fitur yang diperlukan untuk membatasi arus lebih pada sebuah Catu Daya. Piranti tersebut diperlukan untuk melindungi komponen dari kerusakan dan memperpanjang masa guna. Selain itu, sistem proteksi dapat mencegah arus mengalir karena *short circuit* dan pemasangan instalasi yang terbalik. Tanpa sistem proteksi, kerusakan komponen dan kebakaran akan terjadi jika adanya kelebihan arus dalam waktu lama. Untuk menghindari kerusakan komponen atau elemen akibat panas berlebih, maka batasan arus diperlukan (Carniti et al., 2016). Batasan arus atau proteksi arus harus reaktif, sehingga apabila terjadi lonjakan arus maka sistem proteksi seketika akan menurunkan arus atau memutus koneksi (Rahmati et al., 2014). Selain melindungi komponen, proteksi arus pada Catu Daya dapat melindungi PWM (*Pulse Width Modulation*) dari lonjakan arus (Mammano et al., 1989).

Proteksi arus pada Catu Daya arus searah dilakukan dengan dua metode yaitu analog dan digital. Metode digital cenderung lebih praktis dan murah karena komponen yang minim (Khan et al., 2019). Proteksi arus secara digital dapat menggunakan sensor ACS712 (Almanda & Yusuf, 2017). Sensor tersebut dapat mengukur arus AC dan DC dengan luaran berupa tegangan. Sensitivitasnya 185 mV/A dan dapat mengukur arus positif dan negatif. Namun, tegangan luaran saat 0A adalah 2,5V sehingga telah melewati batas tegangan pancung transistor. Maka transistor akan selalu saturasi walaupun arus yang keluar 0A. Untuk mengukur arus sesuai dengan karakteristik transistor, metode *Resonant Converter* dengan *Clamp Diode* dapat digunakan (Borage et al., 2007). Rangkaian ini dapat membatasi arus yang mengalir dengan membuat lolah balik dari transformator, sehingga sinyal lolah baliknya berupa gelombang pulsa. Namun metode memerlukan IC terprogram untuk merekognisi gelombang lolah balik tersebut sehingga tidak dapat diterapkan pada rangkaian analog. Rangkaian proteksi arus dengan model digital tersebut tidak dapat diperbaiki jika terjadi kerusakan pada IC terprogramnya. Apabila IC tersebut mengalami kerusakan maka tidak hanya mengganti ICnya saja, namun harus mengunggah

program pendeteksian arus ke IC tersebut. Contoh kasus terjadi saat pembelajaran mata kuliah Praktikum Elektronika Dasar di Universitas Tidar. Proteksi digital *Bench Power Supply* mengalami kerusakan. Proteksi tidak dapat diperbaiki karena tidak mempunyai *source code* sistem proteksi digitalnya. Sehingga luaran *Power Supply* dilakukan *bypass* agar praktikum tetap berjalan. Kendala perawatan tersebut yang menyebabkan proteksi digital menjadi hambatan di lapangan.

Berbeda dengan sistem pendeteksian arus secara digital, pendeteksi arus secara analog lebih mudah perawatannya. Jika terjadi kerusakan pada komponen detektor arus, komponen yang mengalami kerusakan dapat langsung diganti dengan mudah. Namun sistem analog ini mempunyai kelemahan yaitu membutuhkan banyak komponen yang menyebabkan harga pokok produknya menjadi lebih tinggi dari sistem digital. Untuk meminimalisir harga pokok produk, proteksi arus dengan resistor sebagai sensornya dapat digunakan karena harganya yang relatif terjangkau (Dayanti et al., 2019), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema dasar pembatas arus dengan resistor dan transistor

Pada Gambar 1, R_{Sense} difungsikan sebagai pendeteksi arus dan Transistor Q_1 sebagai aktuatornya. Kelemahan dari rangkaian tersebut adalah arus bocor pada Q_2 yang dapat menyebabkan arus kolektor Q_1 menurun dan aktuator tidak dapat terkunci pada kondisi terbuka saat arus lebih. Arus bocor tersebut dapat terjadi karena arus kolektor Q_2 terhubung dengan kaki basis Q_1 yang akan memengaruhi besaran arus kolektor Q_2 . Hubungan arus basis dan arus kolektor tertulis pada persamaan (1).

$$I_C = I_B \times hFe \quad (1)$$

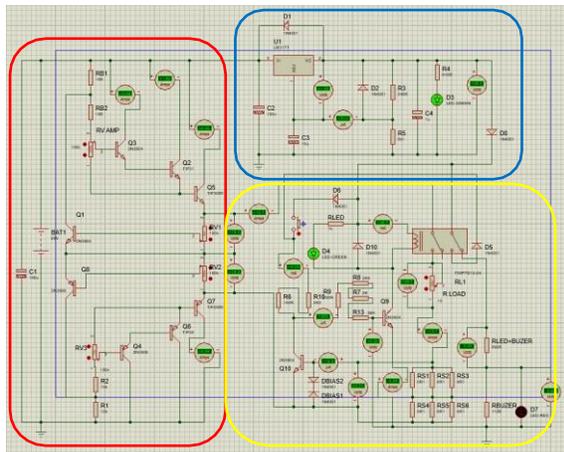
Sedangkan aktuator yang tidak dapat terkunci menyebabkan Q_1 tidak stabil yaitu hubung buka dan tutup secara terus menerus.

Untuk menghindari pengaruh kebocoran arus, dapat dialiri arus yang lebih tinggi, dapat mengunci saat arus lebih dan mempermudah dalam perawatan perawatan. Sensor arus menggunakan resistor resistansi rendah berdaya tinggi, dua tahap rangkaian sekutu emitor dan relay 10A/24V ditawarkan pada artikel ini.

METODE PENELITIAN

Sistem proteksi arus searah dengan resistor sebagai detektor arusnya ditunjukkan pada Gambar 2. Pada gambar tersebut terdiri dari beberapa bagian. Rangkaian yang dikurung merah adalah regulator tegangan pada arus pada Catu Daya. Sedangkan yang ditandai dengan warna biru adalah catu daya sistem proteksi arus. Terakhir, bagian yang ditandai kuning adalah rangkaian proteksi 10A.

Gambar 2 menunjukkan aliran arus DC dideteksi menggunakan resistor dengan kode R_S sejumlah 6 unit diarea kuning. Resistor tersebut dikoneksikan antara beban dan Terminal Out (-) yang menuju rangkaian Darlington PNP Q7. Untuk penjelasan rangkain proteksi secara terpisah, dapat dilihat pada Gambar 3.

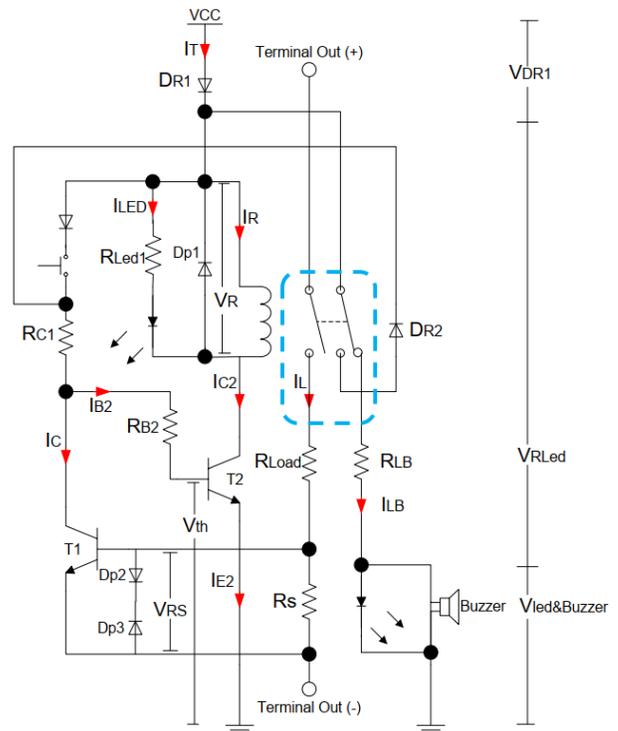


Gambar 2. Rangkaian regulator arus dan tegangan beserta proteksi arus 10A

Terminal Out (+) merupakan terminal luaran positif dari Catu Daya. Sedangkan Terminal Out (-) merupakan terminal luaran negatif pada Catu Daya.

Perancangan arus dimulai dari penentuan arus maksimal yang diperbolehkan mengalir pada beban (I_{Lmax}). Berikutnya menentukan besarnya resistor sensor (R_S) yang disesuaikan dengan tegangan pancung (V_{th1}) Transistor 1 (T_1). Tujuannya adalah, saat I_{Lmax} mengalir R_S , tegangan pada R_S (V_{RS}) dapat melebihi V_{th1} . Sehingga R_S dapat ditentukan dengan prinsip Hukum Ohm yang tertulis pada Persamaan (2).

$$R_S = \frac{V_{th1}}{I_{Lmax}} \quad (2)$$



Gambar 3. Rangkaian proteksi arus DC

Dioda penyearah dengan kode D_{P2} dan D_{P3} difungsikan sebagai pemisah antara Kaki Basis dan Kaki Emitor pada T_1 . Jadi apabila V_{RS} belum sama dengan V_{th1} , sedikit arus basis Transistor 1 (I_{B1}) akan dibelokkan melalui D_{P2} dan D_{P3} sebesar arus bocor dioda ($I_{Dleakage}$). Dengan demikian, T_1 akan tetap dalam kondisi *cutoff*.

Langkah kedua adalah mengasumsikan *relay* aktif seperti Gambar 4 dengan garis putus-putus, Terminal Out (+) terhubung dengan beban kemudian I_{Lmax} tercapai dan $V_{RS} = V_{th1}$ sehingga menyebabkan T_1 saturasi. Dalam kondisi saturasi, besarnya I_{C1} dan tegangan kolektor emitor dalam kondisi saturasi (V_{CEsat}) dapat ditentukan berdasarkan *datasheet*. Setelah I_{C1} & V_{CEsat} ditentukan, nilai R_{C1} dapat dihitung berdasarkan Hukum Ohm dengan mengestimasi tegangannya (V_{RC1}) terlebih dahulu.

Berdasarkan Gambar 4 bagian kiri, V_{RC1} dapat diperoleh dengan Persamaan (3).

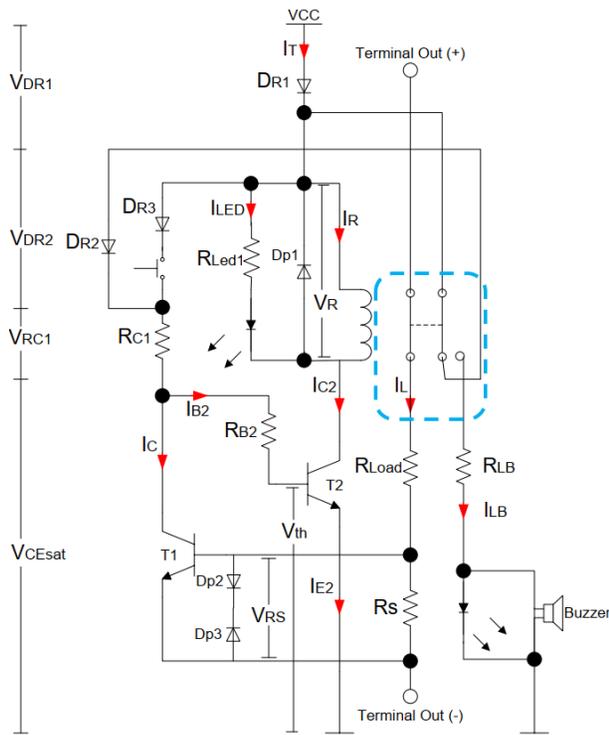
$$V_{RC1} = V_{CC} - V_{DR1} - V_{DR2} - V_{CEsat} \quad (3)$$

Sehingga

$$R_{C1} = \frac{V_{RC1}}{I_{C1}} \quad (4)$$

I_{B2} diasumsikan nol karena nilai hambatan antara kaki kolektor dan emitor (r_{CEsat}) pada T_1 saturasi jauh lebih kecil dari nilai R_{B2} . Dengan kondisi tersebut, T_2 dalam kondisi *cutoff*, sehingga *coil* pada *relay* tidak

mendapatkan suplai tegangan. Oleh karena itu *Normally Open* pada *relay* tidak terhubung dengan Terminal Out (+) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 dengan ditandai garis putus-putus berwarna biru. Terminal Out (+) terkoneksi ke Pin *Normally Close* sehingga LED dan *Buzzer* tercatat. Pemilihan *Buzzer* disesuaikan dengan tegangan kerja LED sehingga keduanya dapat dihubungkan secara paralel. Untuk penentuan R_{LB} , arus dan tegangan kerja LED dan *Buzzer* dicari terlebih dahulu pada *dataheet*, kemudian tegangan pada R_{LB} dihitung dengan Persamaan (5).



Gambar 4. Sesaat sebelum proteksi memutus koneksi beban

$$V_{RLB} = V_{CC} - V_{LED\&Buzzer} - V_{DR1} \quad (5)$$

Setelah V_{RLB} diperoleh, arus yang dibutuhkan LED dan *Buzzer* dijumlahkan untuk mencari I_{LB} . Setelah V_{RLed2} dan I_{LB} diperoleh, maka nilai R_{LB} dapat dicari dengan Persamaan (6).

$$R_{LB} = \frac{V_{RLB}}{I_{RLB}} \quad (6)$$

Langkah ketiga adalah menentukan nilai R_{B2} . Untuk mencari nilai tersebut, I_L diasumsikan belum mencapai I_{Lmax} sehingga $V_{RS} < V_{th}$. Oleh karena itu, T_1 dalam keadaan *cutoff*. Hal tersebut menyebabkan $I_{C1} = 0$ dan arus dari R_{C1} menuju R_{B2} . Oleh karena itu, pada Gambar 5, T_1 tidak dimunculkan. Nilai R_{B2} dapat dicari jika I_{C2} telah ditentukan dengan Persamaan (7).

$$I_{C2} = I_{LED} + I_R \quad (7)$$

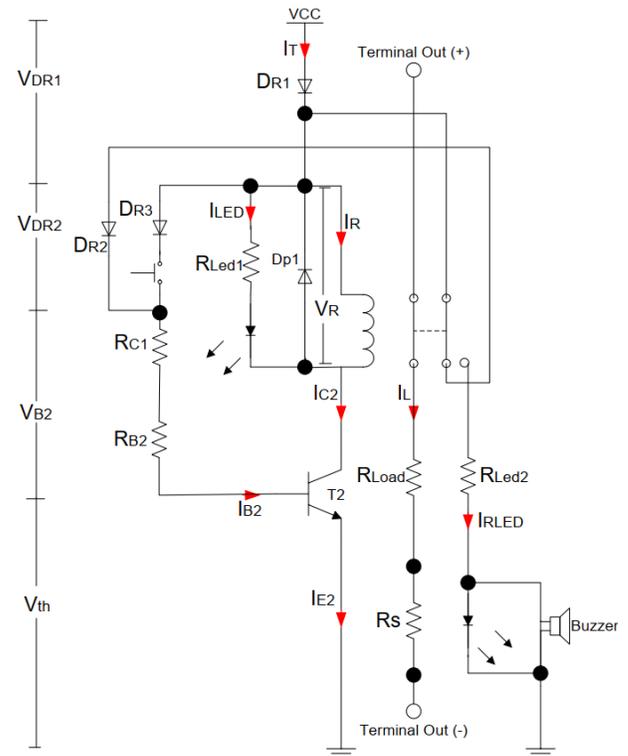
Dengan I_R adalah arus yang diperlukan *coil* untuk membuat saklar *relay* aktif. Nominal arus tersebut dapat dicari melalui (*LY.Pdf*, n.d.). Setelah I_{C2} diperoleh, I_{B2} dapat dihitung melalui Persamaan (1). Sedangkan nilai R_{LED1} dihitung dengan mengetahui V_{RLED1} terlebih dahulu dengan Persamaan (8).

$$V_{RLED1} = V_{RelayCoil} - V_{LED} \quad (8)$$

Kemudian nilai R_{LED1} dapat dihitung dengan Persamaan (9).

$$R_{LED1} = \frac{V_{RLED1}}{I_{LED}} \quad (9)$$

Pada kondisi I_{C2} mengalir, artinya *relay* aktif dan *Normally Open* menjadi terhubung, sehingga I_{load} mengalir dari Terminal Out (+) menuju R_{Load} kemudian ke R_S dan keluar ke Terminal Out (-).



Gambar 5. Operasi saat relay aktif

Pada bagian kiri Gambar 4, ternotasi bahwa V_{B2} mencakup tegangan pada R_{C1} dan R_{B2} . Basis T_2 memperoleh suplai arus dari D_{R2} yang berasal dari D_{R1} , yang bersumber pada V_{CC} . Dalam hal ini V_{CC} berasal dari rangkaian Catu Daya *relay* yang ditunjukkan pada Gambar 2 area biru. Rangkaian Catu Daya tersebut akan dibahas pada bagian Catu Daya Sistem Proteksi. Untuk menghitung V_{B2} , Persamaan (10) dapat digunakan.

$$V_{B2} = V_{CC} + V_{DR1} - V_{DR2} - V_{th} \quad (10)$$

Sehingga

$$R_{B2} + R_{C1} = \frac{V_{B2}}{I_{B2}} \quad (11)$$

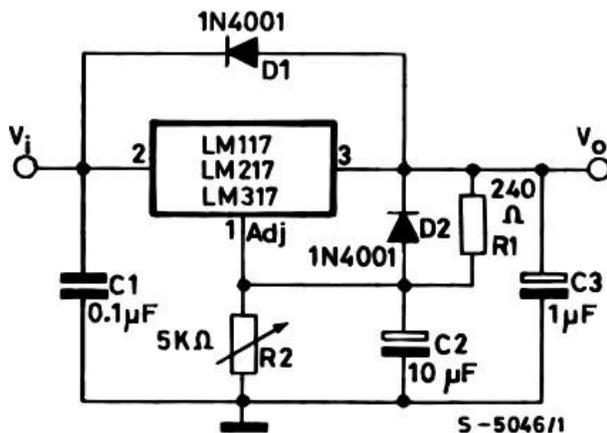
Dengan R_{C1} telah dihitung dengan Persamaan (4).

Selain nilai resistor, arus dan tegangan, pada proteksi arus ini terdapat beberapa dioda yang difungsikan sebagai penghalau arus balik saat Saklar *push on* ditekan. Dioda tersebut adalah D_{R1} , D_{R2} dan D_{R3} . Fungsi saklar tersebut adalah mengaktifkan *relay*. Saat adaptor dinyalakan, arus dari Terminal *Out* (+) mengalir menuju LED dan *Buzzer*. Aktifnya LED dan *Buzzer* merupakan tanda *relay* dalam kondisi tidak aktif. Saat saklar *push on* ditekan, arus dari V_{CC} menuju D_{R1} dan D_{R3} , kemudian mengaktifkan T_2 . Seketika itu juga *relay* aktif seperti yang terlihat pada Gambar 4. Sebelum saklar *push on* dilepas, arus dari D_{R2} dapat mengalir ke *coil relay* jika tidak di-*block* oleh D_{R3} . Begitu juga, arus dari D_{R3} , akan kembali ke kontak *relay* jika tidak di-*block* oleh D_{R2} .

Selain tiga dioda tersebut, terdapat D_{P1} yang difungsikan untuk memproteksi T_2 , dari proses pengosongan energi *coil* pada *relay* (Wouters et al., 2004).

HASIL DAN PEMBAHASAN
Catu Daya Sistem Proteksi Arus

Catu Daya yang digunakan untuk mengaktifkan sistem proteksi adalah arus dan tegangan yang berasal dari regulator tegangan LM317T. Regulator ini dipilih karena dapat menurunkan tegangan sebesar 40V dan menyalurkan arus maksimal sebesar 1A. Gambar 6 menunjukkan rangkaian Catu Daya yang digunakan.



Gambar 6. Rangkaian regulator tegangan (*Lm317t-d.Pdf*, n.d.)

Untuk menentukan tegangan luaran sesuai yang diharapkan, Persamaan (12) dapat digunakan.

$$V_0 = V_{ref} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + (I_{Adj} R_2) \quad (12)$$

Dengan,

- I_{Adj} maksimum = 100 μ A
- V_{ref} = 1,25 V
- R_1 direkomendasikan = 240 Ω

Perkalian antara I_{Adj} dan R_2 dapat diabaikan karena nilainya sangat kecil. Kemudian nilai R_2 dihitung dengan tegangan luaran adalah $V_0 = V_{CC}$,

$$V_{CC} = V_{CE_{2sat}} + V_{coil} + V_{D_{R1}} \quad (13)$$

Dengan nilai tegangan kolektor emitor pada kondisi saturasi ($V_{CE_{2sat}}$), tegangan *coil* (V_{coil}) pada *relay* dan tegangan *forward* dioda ($V_{D_{R1}}$).

Tahapan Simulasi

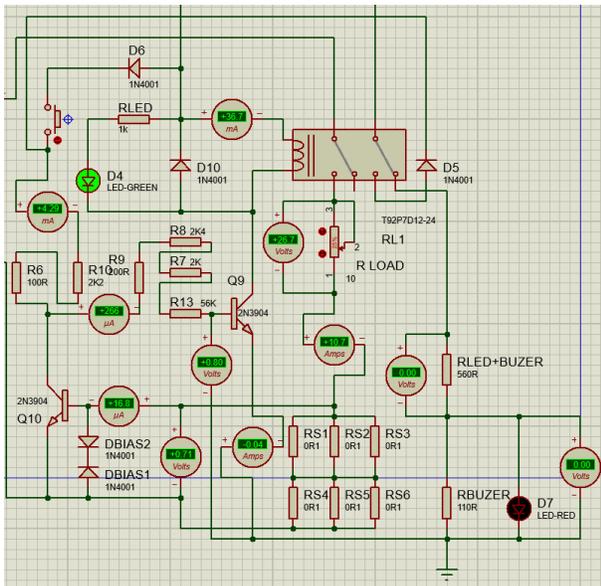
Sistem proteksi yang dirancang mempunyai batasan arus maksimal 10A. Dengan batasan tersebut *relay* LY214 dapat dipergunakan karena dapat mengantarkan daya maksimal 1100VA dengan tegangan *coil* 24V.

Sensor arus yang digunakan adalah reistor kapur dengan nilai 0,1 Ω /100W yang dirangkai secara seri paralel seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Sehingga nilai yang dihasilkan adalah 0,067 Ω /300W. Dengan nilai tersebut, V_{RS} akan bernilai 0,67V saat arus 10A dilewatkan. Tegangan *threshold* transistor silikon yang mendekati nilai tersebut adalah transistor tipe 2N3904 dengan V_{th} antara 0,65V hingga 0,85V. Sehingga, proteksi akan memutuskan koneksi saat arus beban antara 9,7A hingga 12,7A.

Tegangan Catu daya sistem proteksi yang diperlukan untuk mengaktifkan *relay* adalah 25,3V yang dihitung dengan Persamaan (13) dengan tegangan *coil* 24V, tegangan dioda penyearah 1V dan tegangan kolektor emitor saturasi adalah 0,3V karena arus yang diperlukan *coil relay* untuk aktif adalah 36,9mA. Untuk mempermudah perhitungan dan mengantisipasi penyusutan tegangan, maka tegangan catu daya proteksi dinaikkan menjadi 26V. Sehingga berdasarkan persamaan 12, nilai R_2 adalah 5K1 Ω .

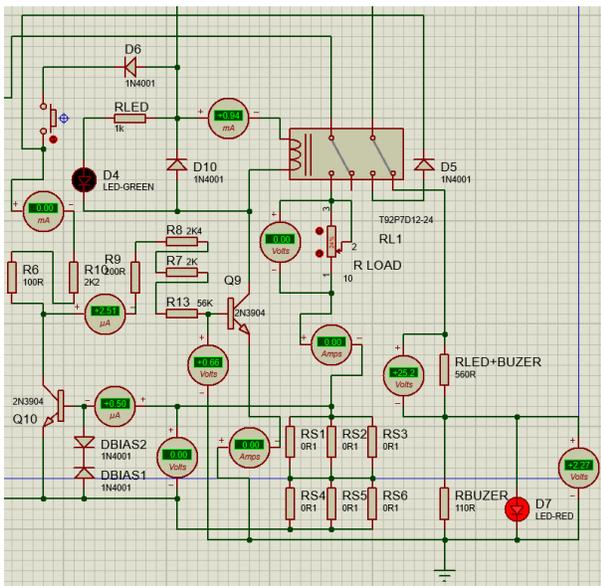
Berdasarkan *datasheet* hFe 2N3904 yang dipilih adalah 200 dengan karena hFe terbesar antara 100 hingga 300. Untuk meningkatkan akurasi hitungan, nilai tengah diambil. Pada rentang hFe tersebut arus kolektor maksimal yang diperbolehkan adalah 10mA. Oleh karena itu I_{C1} diasumsikan 10mA. Dengan Persamaan (3) dan (4), diperoleh nilai R_c sebesar 2K3 Ω .

Nilai R_c telah diperoleh maka nilai R_{B2} dengan Persamaan (10) dan (11) dengan nilai 6K5 Ω . Nilai tersebut diperoleh dengan nilai hFe sama seperti Transistor 1 dan nilai $I_{C2} = I_{coil}$. Nilai-nilai tersebut disimulasikan pada perangkat lunak *Proteus* berdasarkan komponen yang terdapat di pasaran agar realisasinya lebih mudah. Hasil pemilihan komponen dan simulasinya ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Sistem proteksi pada arus beban maksimal

Dari hasil simulasi pada Gambar 6, diperoleh bahwa arus maksimal yang akan membuat sistem proteksi masih terkoneksi adalah 10,7A. Jika arus melebihi nominal tersebut maka Q_{10} akan saturasi dan menyebabkan arus yang mengalir pada basis Q_9 akan terkuras menuju kaki kolektor Q_{10} . Hal tersebut menyebabkan Q_9 *cutoff* dan *coil* pada *relay* tidak mendapatkan suplai arus yang cukup sehingga *relay* tidak aktif seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.

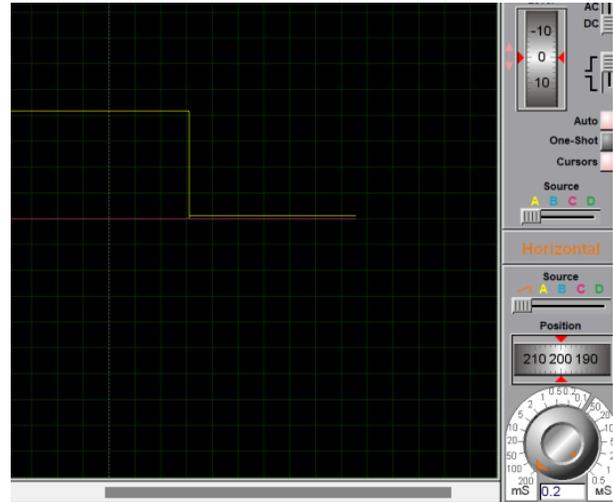


Gambar 7. Relay memutus arus beban yang terlalu besar

Pada Gambar 7 terlihat bahwa arus beban = 0 dan LED D_7 menyala karena kontak *relay* terhubung ke Pin

normally open sehingga beban tidak mendapatkan suplai dari Catu Daya.

Respon luaran dari proteksi arus saat arus melebihi ambang batas sangat responsif. Hal tersebut diperlihatkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Respon pemutusan arus

Pada Gambar tersebut jeda respon pemutusan arus (garis kuning) hampir tidak terlihat pada skala 20mV/div. Hal tersebut diartikan bahwa respon proteksi arus yang dirancang sangat cepat.

Pembuatan Catu Daya dan Proteksi Arus berdasarkan K3L

Produk Catu Daya DC merupakan objek K3 dan harus memenuhi aspek-aspek K3 untuk menjamin keselamatan pengguna dan lingkungan kerja (Rosmiati, 2023). Salah satu aspek penting adalah pemilihan komponen penghantar. Penghantar tidak boleh lebih rendah dari arus maksimal yang akan dihantarkan. Untuk mengetahui ukuran kabel penghantar dan kemampuan hantarnya dapat dilihat menggunakan tabel AWG (*American Wire Gauge*) (Hamiddin, 2018).

Selain pemilihan kabel penghantar, spesifikasi penghantar pada PCB (*Printed Circuits Bord*) harus diperhatikan. Salah satu teknik untuk memperkuat jalur PCB dari arus besar adalah dengan memperlebar dan menambahkan tenol pada permukaan jalur. Terdapat standar ketebalan dan lebar jalur pada PCB untuk nilai arus tertentu seperti yang diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Standar IPC standart for PCB (Jones, 2004)

Track Width Reference Table (for 10deg C temp rise). Track Width is in Thou (mils)			
Current (Amps)	Width for 1oz	Width for 2 oz	milli Ohms/Inch
1	10	5	52
2	30	15	17.2
3	50	25	10.3
4	80	40	6.4
5	110	55	4.7
6	150	75	3.4
7	180	90	2.9
8	220	110	2.3
9	260	130	2.0
10	300	150	1.7

Berdasarkan Tabel 1, ketebalan *layer* menggunakan satuan oz (*ounces per squarefoot*) sedangkan lebarnya menggunakan satuan Thou. Cara membaca Tabel 1 adalah menentukan ketebalan *layer* tembaga pada PCB (1oz atau 2oz). Apabila arus yang akan dilewatkan pada jalur PCB adalah 10A maka lebar minimal yang disarankan adalah 300 thou untuk ketebalan 1 oz dan 150 thou untuk 2 oz. Dengan konversi 100 thou = 0,1 inchi = 2,54 mm.

Selain standar komponen agar aman dioperasikan, standar produksi atau pembuatan juga diperhatikan. Berdasarkan etika profesi, proses *etching* PCB harus menggunakan APD (Alat Perlindungan Diri) yang lengkap karena terpapar langsung dengan zat-zat beracun (LaDou, 2006). Menggunakan sarung tangan karet, kacamata dan masker merupakan hal wajib. Selain itu, tempat *etching* harus area terbuka atau berada di dekat kipas *exhaust* jika di dalam ruangan dan terdapat sarana aliran air di dekatnya. Hal tersebut diperhatikan karena proses *etching* menggunakan campuran cairan kimia H₂O₂, HCl dan air. Ketiga cairan tersebut apabila dicampurkan akan menimbulkan bau menyengat yang dapat menyakitkan hidung jika terhirup. Selain itu, kulit dan mata akan terasa terbakar apabila terkena H₂O₂. Jika bagian tubuh terkena cairan tersebut, segera basuh dengan air mengalir hingga rasa perihnya mereda. Selain itu *wearpack* juga dianjurkan karena apabila cairan tersebut mengenai pakaian, maka akan meninggalkan noda kuning yang tidak akan dapat dihilangkan.

Selain perlindungan diri, peralatan *etching* juga tidak boleh dari bahan yang mengandung metal karena akan bereaksi pada zat-zat kimia tersebut (Park et al., 2018). Oleh karena itu peralatan yang digunakan adalah peralatan yang terbuat dari plastik dan kaca sehingga residu yang dihasilkan akan minim sehingga dampak buruk lingkungan dapat diminimalisir.

KESIMPULAN

Rangkaian sistem proteksi arus dengan komponen inti transistor 2N3904, *relay* LY214, resistor daya 0,1Ω/100W dan regulator IC LM317T dapat membatasi arus maksimal 10A dengan catu daya sistem proteksi 26V hingga 60V. Selain itu, sistem ini telah dilengkapi indikator LED hijau sebagai penanda sistem proteksi

dalam kondisi *standby* dan *buzzer*, serta LED warna merah sebagai penanda jika arus telah melebihi 10A. Selain itu, proteksi ini dapat mengunci kondisi *cut off* jika terjadi *short circuit* dan pengkoneksian yang terbalik. Untuk mengaktifkan kembali sistem proteksi dalam kondisi normal, disediakan tombol *reset*. Sistem ini bekerja secara analog dengan komponen yang mudah diperoleh di pasaran, sehingga mempermudah perawatan jika terjadi kerusakan. Namun, sistem ini lebih mahal dan dimensinya lebih besar dibandingkan sistem proteksi digital karena komponen yang digunakan lebih banyak dan berukuran lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

Almanda, D., & Yusuf, H. (2017). Perancangan Prototype Proteksi Arus Beban Lebih Pada Beban DC Menggunakan Mikrokontroler. *eLEKTUM*, 14(2), 25–34.

B. A. Khan, H. M. Ashraf, S. Hamid, R. M. Asif, & U. Bashir. (2019). *Implementation of Micro Controller Based Electromechanical Over Current Relay for Radial Feeder Protection*. 2019 International Conference on Engineering and Emerging Technologies (ICEET), 1–6. <https://doi.org/10.1109/CEET1.2019.8711841>

Borage, M., Tiwari, S., & Kotaiah, S. (2007). *LCL-T resonant converter with clamp diodes: A novel constant-current power supply with inherent constant-voltage limit*. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 54(2), 741–746.

Carniti, P., Cassina, L., Gotti, C., Maino, M., & Pessina, G. (2016). A low noise and high precision linear power supply with thermal foldback protection. *Review of Scientific Instruments*, 87(5).

Dayanti, J. K., Andromeda, T., & Christyono, Y. (2019). Perancangan Current Limiter Sebagai Proteksi Sistem Charging Baterai. *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 7(4), 941–948.

Hamiddin, I. (2018). Automatic Switch With Integrated Control System Using Arduino Uno. *E-JPTE (Jurnal Elektronik Pendidikan Teknik Elektronika)*, 8(1), 33–41.

Jones, D. L. (2004). PCB design tutorial. June 29th, 3–25. <https://www.alfadex.com>

LaDou, J. (2006). Printed circuit board industry. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 209(3), 211–219.

Lm317t-d.pdf. (n.d.). Retrieved December 4, 2023, from <https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/lm317t-d.pdf>

LY.pdf. (n.d.). Retrieved December 3, 2023, from <https://www.limasoft.cz/omron/pdf/LY.pdf>

Mammano, R., Radovsky, J., & Harlan, G. (1989). *A new linear regulator features switch mode overcurrent protection (for power supplies)*. *Applied Power*

- Electronics Conference and Exposition (APEC). 159–164.
- Park, C.-H., Kim, H.-S., Jeon, B.-H., & Kim, D.-H. (2018). Study on safety management plan through chemical accident investigation in PCB manufacturing facility etching process. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 19(4), 132–137.
- Rahmati, A., Dimassi, M. A., Adhami, R., & Bumblauskas, D. (2014). *An overcurrent protection relay based on local measurements*. IEEE Transactions on Industry Applications, 51(3), 2081–2085.
- Rosmiati, R. (2023). *Pengenalan K3 Umum*. repository.tangguhdenarajaya.com
- Wouters, J., Sevenhans, J., Fernandez, T., Biggs, J., Das, C., & Dupont, S. (2004). *A novel active feedback flyback [inductive load driver]*. European Conference in Solid-Stat Circuits (ESSCIRC), 399–402.