

PERANCANGAN CATU DAYA ARUS SEARAH KELUARAN GANDA SEBAGAI PENGGERAK ROBOT LENGAN ARTIKULASI

Fatimah Ratna Utami^{*)}, Munawar Agus Riyadi, dan Yuli Christyono

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

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

Abstrak

Dari berbagai jenis motor, yang digunakan sebagai penggerak lengan robot pemindah barang adalah motor servo. Motor servo adalah motor yang membutuhkan catu daya pada kontroler dan penggerakannya, sehingga dibutuhkan dua catu daya sekaligus. Catu daya merupakan piranti elektronik yang memiliki sifat pengubah (altering), pengendalian (controlling), atau pengaturan (regulating) daya listrik, sehingga mampu mencatu daya (arus dan tegangan) yang sesuai dengan kebutuhan. Proses penelitian yang baik maka diperlukan peralatan pendukung yang baik pula. Transformator dengan kendali konvensional biasanya digunakan untuk proses penyearahan. Metode konvensional ini mempunyai efisiensi yang lebih rendah dan menghasilkan disipasi daya yang tinggi, serta keberadaan transformator konvensional 50Hz sebagai step down transformer dengan inti besi, sehingga membuat dimensinya besar dengan harga yang mahal. Dalam penelitian ini, catu daya saklar diaplikasikan dengan buck converter. Catu daya ini menggunakan trafo ferrite frekuensi tinggi, sehingga membuat dimensinya kecil dengan harga terjangkau. IC LM2596 dan XL4016 digunakan untuk membangkitkan sinyal modulasi lebar pulsa atau (Pulse Width Modulation) PWM untuk mengontrol pemicuan saklar pada catu daya keluaran ganda. Feedback tegangan dan arus digunakan untuk menjaga kestabilan tegangan keluaran catu daya.

Kata kunci: catu daya, buck converter, PWM

Abstract

Among various types of motors, which are used as movers for moving robotic arms are servo motors. Servo motor is a motor that requires a power supply to the controller and drive, so that it takes two power supplies at once. The power supply is an electronic device that has the properties of altering, controlling, or regulating electrical power, so as to be able to supply power (current and voltage) as needed. A good research process requires good supporting equipment. Transformers with conventional controls are usually used for the rectification process. This conventional method has lower efficiency and results in high power dissipation, as well as the presence of a conventional 50Hz transformer as a step down transformer with an iron core, thus making large dimensions at an expensive price. In this study, the switch power supply was applied with a buck converter. This power supply uses a high frequency ferrite transformer, thus making its dimensions small at an affordable price. IC LM2596 and XL4016 are used to generate pulse width modulation signals or (Pulse Width Modulation) PWM to control switch triggering on multiple output power supplies. Voltage and current feedback is used to maintain the stability of the power supply output voltage.

Keywords: power supply, buck converter, PWM

1. Pendahuluan

Terdapat berbagai jenis dan bentuk dari teknologi robotika, salah satunya adalah robot berbentuk lengan. Robot lengan merupakan jenis robot manipulator yang berbentuk seperti lengan manusia dengan memiliki sendi atau disebut dengan joint dan link yang merupakan penghubung antar joint. [1] Pada robot lengan, tiap joint digerakkan oleh motor servo. Motor servo merupakan salah satu jenis mesin listrik yang merubah arus searah menjadi energi mekanis. [2] Pada saat ini masih banyak suplai motor arus searah menggunakan kendali konvensional dengan proses

penyearahan menggunakan transformator. Metode konvensional ini mempunyai efisiensi yang lebih rendah dan menghasilkan disipasi daya yang tinggi, serta transformator memiliki dimensi yang besar serta mahal dalam perawatan maupun perbaikannya. [3]

Salah satu metode alternatif yang dapat digunakan sebagai suplai motor arus searah adalah dengan menggunakan rangkaian elektronika daya seperti rangkaian catu daya switching (Switching Mode Power Supply/SMPS). SMPS dipilih karena memiliki keunggulan yaitu efisiensi yang tinggi dan lebih baik dari

catu daya linier, karena SMPS bekerja pada frekuensi tinggi maka lilitan pada trafo akan semakin sedikit, sehingga disipasi daya akan sedikit. [4]

Motor servo memerlukan catu daya untuk penggerak dan untuk pengontrol. Motor servo yang digunakan dalam perancangan robot lengan artikulasi yang dirancang rekan penulis dalam satu tim penelitian bertegangan 5V dengan kontroler bertegangan 9V. Sementara itu, catu daya yang terdapat di pasaran biasanya hanya memiliki keluaran tunggal sebesar 12 V dan merupakan catu daya linier. [5]

Oleh karena itu, pada penelitian ini, Penulis akan merancang catu daya arus searah keluaran ganda yang bertegangan 5V dan 9V. Catu daya ini menggunakan regulasi pensaklaran / switching yang bekerja pada frekuensi tinggi.

2. Metode

2.1. Catu Daya

Catu daya atau sering disebut dengan *Power Supply* adalah perangkat elektronika yang berguna sebagai sumber daya untuk perangkat lain. Secara umum istilah catu daya berarti suatu sistem penyearah-filter yang mengubah AC menjadi DC murni. Sumber DC seringkali dapat menjalankan peralatan-peralatan elektronika secara langsung, meskipun diperlukan beberapa cara untuk meregulasi dan menjaga gaya gerak listrik agar tetap meskipun beban berubah-ubah. [6]

Catu daya atau sering disebut dengan Power Supply adalah perangkat elektronika yang berguna sebagai sumber daya untuk perangkat lain. Secara umum istilah catu daya berarti suatu sistem penyearah-filter yang mengubah AC menjadi DC murni. Sumber DC seringkali dapat menjalankan peralatan-peralatan elektronika secara langsung, meskipun diperlukan beberapa cara untuk meregulasi dan menjaga gaya gerak listrik agar tetap meskipun beban berubah-ubah. [7]

Energi yang paling mudah tersedia adalah arus bolak-balik, harus diubah atau disearahkan menjadi DC berpulsa, yang selanjutnya harus diratakan atau disaring menjadi tegangan yang tidak berubah-ubah. Tegangan DC juga memerlukan regulasi tegangan agar dapat menjalankan rangkaian dengan baik.

Secara garis besar, pencatu daya listrik dibagi menjadi dua macam, yaitu pencatu daya tak distabilkan dan pencatu daya distabilkan. Pencatu daya tak distabilkan merupakan jenis pencatu daya yang paling sederhana. Pada pencatu daya jenis ini, tegangan maupun arus keluaran dari pencatu daya tidak distabilkan, sehingga berubah-ubah sesuai keadaan tegangan masukan dan beban pada keluaran. Pencatu daya jenis ini biasanya digunakan pada peranti elektronika sederhana yang tidak sensitif akan perubahan

tegangan. Pencatu jenis ini juga banyak digunakan pada penguat daya tinggi untuk mengkompensasi lonjakan tegangan keluaran pada penguat. [8]

2.2. Buck Converter

Pada dasarnya, buck converter yang merupakan salah satu jenis dari topologi dari switching power supply terdiri dari 2 bagian, yaitu bagian power dan bagian kontrol. Bagian power berfungsi untuk konversi tegangan, termasuk komponen-komponen di dalamnya, seperti, switch dan filter output. Bagian kontrol berfungsi untuk mengontrol state ON-OFF dari switch yang terdapat di dalam rangkaian. Buck converter dapat dioperasikan dalam 2 mode, yaitu, continuous conduction mode dan discontinuous conduction mode. [9]

Di dalam continuous conduction mode, arus akan terus mengalir melewati induktor atau dengan kata lain arus pada induktor tidak akan pernah mencapai nilai nol (0). Di dalam discontinuous conduction mode, arus yang mengalir melewati induktor akan bernilai nol (0) untuk rentang waktu tertentu. Nilai induktor yang dipilih akan menentukan mode yang akan digunakan.

Di dalam menganalisa prinsip kerja buck converter, terdapat 2 state, yaitu, state ON dan state OFF. Ketika pada state ON atau saklar pada kondisi ON, arus sumber mengalir melalui induktor L menuju output beban kapasitor dan resistor hingga tegangan keluaran mendekati tegangan masukan. Ketika pada state OFF atau saklar pada kondisi OFF, terjadi pembalikan polaritas sehingga energi yang tersimpan pada induktor akan mengalir terbalik berdasar tegangan yang tersimpan pada kapasitor hingga terjadi pengurangan pada kapasitor. Proses pengisian dan pengosongan inilah yang menyebabkan tegangan keluaran selalu lebih rendah dari tegangan masukannya. [10]

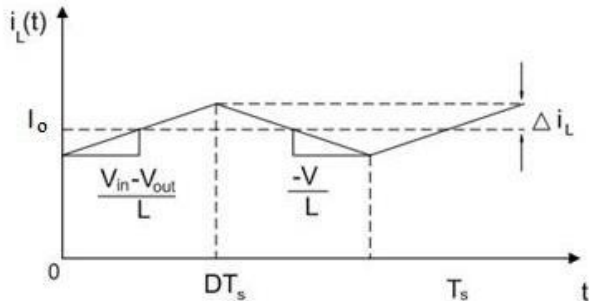
2.3. Rangkaian Filter

Rangkaian filter merupakan rangkaian yang berfungsi untuk mengurangi ripple yang terjadi pada suatu rangkaian penyearah. Umumnya komponen yang dipakai adalah:

- (1) Kapasitor yang dihubungkan secara paralel pada terminal output penyearah.
- (2) Induktor yang dihubungkan secara seri pada penyearah.

Agar sistem beroperasi pada daerah yang kontinyu maka arus induktor harus tetap kontinyu dalam satu periode. Gambar 2.4 menunjukkan arus dari induktor selama satu periode dalam keadaan tunak. Pada sistem buck converter, arus rata-rata induktor I_L sama dengan arus beban I_O dalam kondisi tunak adalah sama dengan arus beban I_L . Gambar 2.4 menunjukkan bahwa arus induktor

berada pada sekitar arus rata-ratanya dengan nilai arus maksimum sebesar $I_o + \Delta I_L$ dan arus minimum $I_o - \Delta I_L$. [11]



Gambar 1. Arus Induktor

Dalam menentukan besarnya nilai induktor dapat menggunakan persamaan berikut [12]:

$$\Delta I_L = \frac{V_{in} D (1-D)}{f L}$$

$$L = \frac{V_{in} D (1-D)}{f \Delta I_L}$$

Dimana:

- L = Nilai induktor (induktansi)
- V_{in} = Tegangan masukan
- D = Duty cycle
- ΔI_L = Ripple arus
- f = Frekuensi

Tegangan keluaran sistem pada kenyataannya tidak dapat bernilai konstan secara sempurna. Hal ini dikarenakan kapasitor yang digunakan akan terus melakukan pengisian dan pelepasan muatan. Pada tegangan keluaran sistem V_o akan terdapat ripple tegangan (ΔV). Dalam penentuan besarnya ripple tegangan dapat menggunakan persamaan berikut ini [13]:

$$\Delta V = \frac{V_{in} D (1-D)}{8 L C f^2}$$

$$C = \frac{V_{in} D (1-D)}{8 L \Delta V f^2}$$

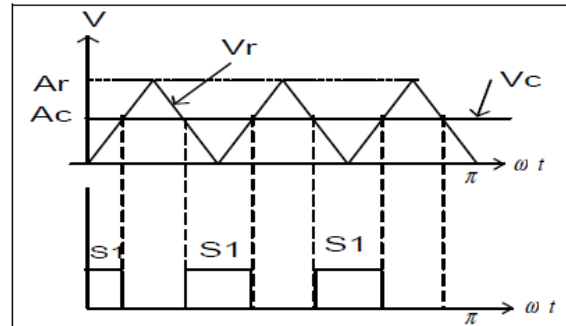
Dimana:

- C = Nilai Kapasitor
- ΔV = Ripple tegangan

2.4. Pulse Width Modulation (PWM)

Modulasi lebar pulsa atau yang lebih dikenal dengan sebutan *Pulse Width Modulation* (PWM) merupakan suatu teknik yang membandingkan sinyal referensi dengan sinyal *carrier*. Pada umumnya untuk sinyal *carrier* berupa gelombang segitiga. Apabila amplitudo sinyal referensi berada di atas amplitudo sinyal *carrier* maka dihasilkan sinyal *gate* "high" dan jika amplitudo sinyal referensi berada di bawah amplitudo sinyal referensi berada di bawah amplitudo sinyal *carrier* maka dihasilkan sinyal

"low". Pada gambar berikut menunjukkan hasil perbandingan tersebut dimana mempunyai nilai *duty cycle* tertentu. [14]



Gambar 2. Pulse Width Modulation (PWM).

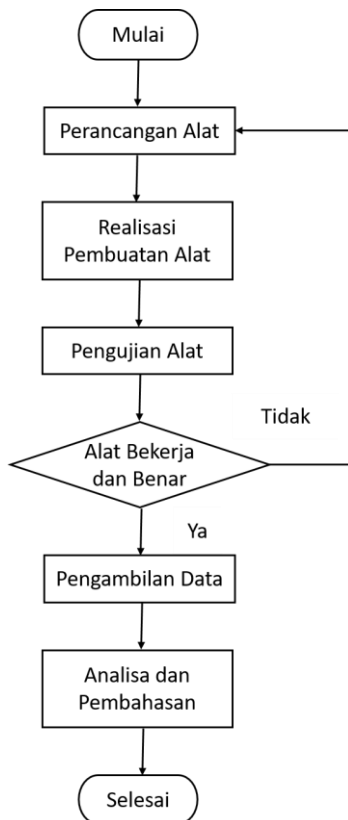
Duty cycle adalah perbandingan antara waktu konduksi dibagi dengan total waktu antara kondisi konduksi dan tidak konduksi dikalikan seratus persen.

$$Duty\ cycle = \frac{t_{ON}}{t_{ON} + t_{OFF}} \times 100\%$$

Dari *duty cycle* tersebut nantinya akan dipakai untuk memberikan waktu konduksi dan tidak konduksinya komponen semikonduktor. Didalam teknik PWM, pulsa penyalaan yang mengontrol keadaan ON dan OFF saklar dihasilkan dari perbandingan gelombang $V_{control}$ dengan gelombang segitiga seperti pada gambar di atas. $V_{control}$ umumnya dihasilkan dengan memperbesar tegangan DC atau perbedaan antara tegangan keluaran dengan tegangan yang diinginkan. Jadi prinsip kerja dari PWM adalah jika nilai sesaat gelombang $V_{control}$ lebih besar dari gelombang segitiga, maka saklar akan menutup (ON) dan sebaliknya saklar akan membuka (OFF). [15]

3. Hasil dan Analisis

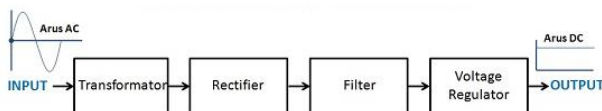
Perancangan alat dimulai dengan studi literatur tentang robot lengan artikulasi untuk diketahui sistem catu daya yang diperlukan untuk menyuplai setiap komponen elektronika robot. Robot yang dibuat rekan tim penulis menggunakan motor servo sebagai penggerak pada lengannya. Motor servo memerlukan catu daya arus searah untuk penggerak dan untuk pengontrol. Oleh karena itu, diperlukan catu daya keluaran ganda. Berikut adalah diagram alir penelitian untuk catu daya arus searah keluaran ganda.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Sebuah catu daya memiliki 4 bagian utama agar dapat menghasilkan arus DC yang stabil. Keempat bagian tersebut adalah:

- Transformator
- Penyearah (*Rectifier*)
- Penyaring (*Filter*)
- Regulator yang berfungsi sebagai penstabil tegangan.

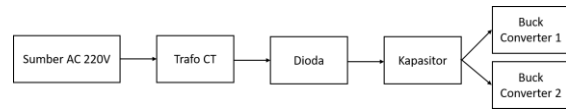


Gambar 4. Diagram Blok Power Supply

Di Indonesia, listrik yang umum digunakan konsumen rumah tangga adalah listrik arus bolak-balik atau *alternating current* (AC) dengan tegangan 220V dan frekuensi 50 Hz. Peranan *rectifier* atau penyearah dalam rangkaian catu daya adalah untuk mengubah tegangan listrik AC menjadi tegangan listrik DC. Rectifier biasanya terdiri dari dioda-dioda. Filter merupakan bagian yang terdiri dari kapasitor yang berfungsi untuk meratakan sinyal arus DC yang berasal dari *rectifier*.

Berdasarkan studi literatur, untuk menghasilkan tegangan keluaran yang lebih kecil dari tegangan masukannya, topologi *voltage regulator* yang tepat untuk digunakan

dalam pembuatan catu daya arus searah keluaran ganda ini adalah *buck converter*. Adapun diagram blok dari sistem yang akan dibangun dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Blok Sistem

Berdasarkan Gambar 5, catu daya yang dirancang merupakan sistem catu daya yang melewati beberapa proses. Proses kerja catu daya dimulai dari suplai tegangan 220V AC 50 Hz yang diturunkan tegangannya oleh transformator, diubah menjadi DC oleh dioda, difilter menggunakan kapasitor, kemudian masuk ke masing-masing *buck converter*.

Berdasarkan spesifikasi motor servo Tegangan keluaran yang diperlukan adalah 9V_{DC} dengan arus minimal 2A dan 5 V_{DC} dengan arus minimal 8A. Melalui studi literatur, diperoleh buck converter yang paling sesuai adalah modul LM2596 untuk tegangan 9V dengan arus 3A dan modul XL4016 untuk tegangan 5V dengan arus 8A.

3.1. Modul LM2596

Seri regulator LM2596 adalah sirkuit terintegrasi monolitik yang menyediakan semua fungsi aktif untuk regulator switching step-down (*buck*), yang mampu menggerakkan beban 3-A dengan pengaturan saluran dan beban yang sangat baik. Perangkat ini tersedia dalam tegangan output tetap sebesar 3,3 V, 5 V, 12 V, dan versi output yang dapat disesuaikan. Memerlukan jumlah minimum komponen eksternal, regulator ini mudah digunakan dan termasuk kompensasi frekuensi internal, dan frekuensi tetap generator. Seri LM2596 beroperasi pada frekuensi switching 150 kHz, sehingga memungkinkan komponen filter berukuran lebih kecil dari apa yang diperlukan dengan regulator switching frekuensi rendah. Tersedia dalam paket 7-pin TO-220 standar dengan beberapa opsi tikungan ujung yang berbeda, dan paket pemasangan permukaan 7-pin TO-263.



Gambar 6. Modul LM2596

3.2. Modul XL4016

XL4016 adalah konverter DC / DC frekuensi tetap 180 KHz buck (*step-down*), yang mampu menggerakkan

beban 8A dengan efisiensi tinggi, riak rendah, serta pengaturan saluran dan beban yang sangat baik. Memerlukan jumlah minimum komponen eksternal, regulator mudah digunakan dan termasuk kompensasi frekuensi internal dan osilator frekuensi yang ditambahkan. Sirkuit kontrol PWM dapat menyesuaikan rasio resmi secara linear dari 0 hingga 100%. Fungsi proteksi arus berlebih dibangun di dalam. Ketika fungsi perlindungan singkat terjadi, frekuensi kompensasi akan berkurang dari 180KHz ke 48KHz. Blok kompensasi internal dibangun untuk meminimalkan jumlah komponen eksternal.



Gambar 7. Modul XL4016

3.3. Transformator

Digunakan transformator dengan inti ferit tipe toroid karena

- Ukuran kecil dan ringan
- Dimensi yang fleksibel
- Mudah dipasang
- Efisiensi tinggi
- Dukung mekanis teredam
- Medan magnet lemah



Gambar 8. Transformator Toroidal

$$P_{in} > P_{out}$$

$$P = V \cdot I$$

$$\text{Stepdown} \rightarrow P_{out} = P_{in} \times \text{efisiensi}$$

$$\text{Efisiensi minimum } 80\%$$

Step down 9V 3A

$$P_{out} = 9 \times 3 = 27W$$

$$P_{in} = 27 / 80\% = 34,75W$$

Step down 5V 8A

$$P_{out} = 5 \times 8 = 40W$$

$$P_{in} = 40 / 80\% = 50$$

$$\text{Total daya} = 34,75 + 50 = 84,75$$

Minimal daya transformator yang digunakan: 100 watt

3.4. Perancangan Catu Daya

Untuk merancang catu daya arus searah keluaran ganda, diperlukan sebuah software perancangan yang mudah digunakan dan memiliki fitur lengkap. Penulis memilih menggunakan software Eagle.

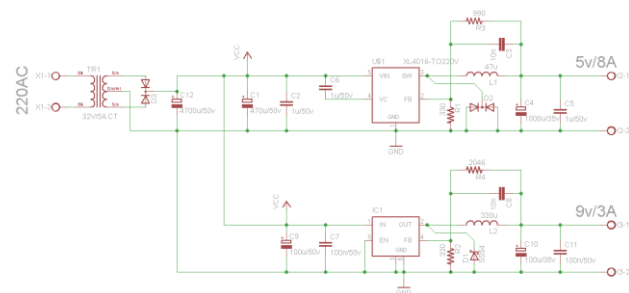


Gambar 9. Logo Software Eagle

Komponen yang digunakan dalam pembuatan catu daya arus searah keluaran ganda adalah:

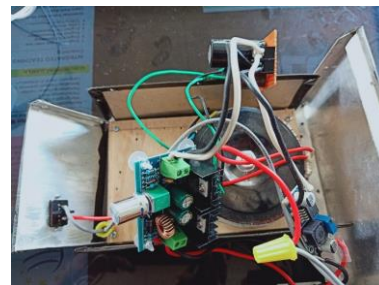
- Transformator toroid 100 Watt 5 Ampere
- Dioda sebagai penyearah atau *rectifier*
- Kapasitor sebagai filter
- Modul LM2596
- Modul XL4016

Berikut adalah skema rangkaian catu daya arus searah keluaran ganda yang dibuat menggunakan software Eagle.



Gambar 10. Skema Rangkaian Catu Daya

Berikut adalah catu daya arus searah keluaran ganda yang dibuat



Gambar 11. Penampakan Dalam Catu Daya

Pada catu daya di atas, terlihat transformator dan 3 blok rangkaian yang terhubung oleh kabel dan dimasukkan ke dalam casing besi.

Transformator yang digunakan berbentuk donat atau biasa disebut transformator toroid. Berikut adalah alasan pemilihan transformator toroid beserta penjelasannya.

- Ukuran kecil dan ringan

Trafo Toroidal hampir setengah ukuran dan berat trafo standar lainnya. Ini karena bentuk transformator yang ideal membutuhkan bahan paling sedikit. Selain itu, belitan tersebar secara simetris di seluruh inti, sehingga membuat panjang kawat sangat pendek. Ukuran yang lebih kecil ini membuatnya lebih berguna untuk digunakan dalam produk listrik kompak kecil.

- Dimensi yang fleksibel

Sementara penampang transformator toroidal dipertahankan konstan, tinggi dan diameter dapat diubah untuk mengakomodasi pengaplikasiannya. Ini berarti bahwa transformator toroidal dapat digunakan dalam aplikasi di mana transformator lain tidak bisa.

- Mudah dipasang

Trafo toroidal hanya membutuhkan satu baut tengah untuk dipasang. Hal ini menghasilkan pemasangan transformator yang lebih cepat dan lebih mudah, sehingga mengurangi waktu perakitan oleh produsen peralatan. Di sisi lain, transformator standar lainnya memerlukan empat sekrup yang harus dipasang. Transformator toroidal dapat dipasang dengan bantuan pelat pemasangan tanpa tekanan, pot pusat resin dengan sisipan kuningan, pemasangan PCB, atau enkapsulasi lengkap dalam rumah plastik atau logam.

- Efisiensi tinggi

Efisiensi transformator dapat didefinisikan sebagai daya keluaran yang berguna yang dikirim ke beban dibagi dengan input daya ke transformator. Perbedaan antara kedua nilai ini dikonsumsi oleh kerugian pada inti dan belitan. Transformator toroidal umumnya 90-95% efisien, dibandingkan dengan efisiensi transformator lain, yang umumnya kurang dari 90%. Efisiensi yang lebih baik ini merupakan hasil dari baja berorientasi butir berkualitas tinggi yang digunakan dalam inti, dan belitan yang didistribusikan secara simetris pada seluruh keliling inti.

- Dukung mekanis teredam

Ketika belitan dan lapisan inti bergetar karena kekuatan antara lilitan kumparan dan laminasi inti, dengungan terdengar disebabkan oleh transformer. Selain itu, dengungan meningkat seiring waktu ketika laminasi mulai mengendur. Tapi, konstruksi transformator toroidal membantu meredam suara akustik. Intinya dibungkus rapat, dilas berupa titik, kuat, dan dilapisi dengan resin epoksi. Gulungan inti yang seragam tidak meninggalkan celah udara, sehingga tidak meninggalkan lembaran yang longgar untuk bergetar, akhirnya menghasilkan dengungan yang lebih rendah. Bahkan jika dengungan terdengar ketika daya dihidupkan, ia mati ke tingkat yang lebih tenang setelah beberapa detik.

- Medan magnet lemah

Karena konstruksi unik transformator toroidal, mereka memancarkan sekitar 1/10 medan magnet transformator lainnya. Medan magnet ini mengubah energi dari primer ke sekunder, sehingga menghilangkan kebutuhan untuk segala jenis perisai khusus, membuat peralatan ini sangat cocok untuk aplikasi dalam peralatan elektronik sensitif seperti peralatan medis, CRT, dan amplifier tingkat rendah.

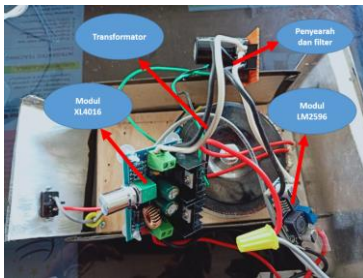
Salah satu *buck converter* yang dipilih adalah modul LM2596. Berikut adalah spesifikasinya berdasarkan datasheet.

- Konverter Daya 150-kHz 3-A Step Down Regulator Tegangan
- Versi Output 3.3-V, 5-V, 12-V, dan bias disesuaikan
- Kisaran Tegangan Output Versi Disesuaikan: 1.2-V hingga 37-V \pm 4% Maksimum Over Line dan Beban Kondisi
- Tersedia dalam Paket TO-220 dan TO-263
- Arus Beban Output 3-A
- Rentang Tegangan Input Hingga 40 V
- Hanya Membutuhkan 4 Komponen Eksternal
- Spesifikasi Regulasi Lini dan Beban yang Sangat Baik
- Osilator Internal Frekuensi Tetap 150-kHz
- Kemampuan Shutdown TTL
- Mode Siaga Daya Rendah, Biasanya 80 μ A
- Efisiensi tinggi
- Menggunakan Induktor Standar Yang Sudah Tersedia
- Thermal Shutdown dan Perlindungan Batas Arus

Buck converter yang lain adalah modul XL4016. Berikut adalah spesifikasinya berdasarkan datasheet.

- Kisaran Tegangan Input 8V hingga 40V
- Output Dapat Disesuaikan dari 1.25V hingga 36V
- Maksimum Duty Cycle 100%
- Minimum Drop out 0.3V
- Memperbaiki Frekuensi Switching 180KHz
- 8A Output Konstan Kemampuan Arusnya
- Mengoptimalkan Daya Internal MOSFET
- Efisiensi tinggi hingga 96%
- Regulasi saluran dan beban yang luar biasa
- Dibangun pada fungsi thermal shutdown
- Dibangun pada fungsi batas saat ini
- Fungsi perlindungan pendek keluaran built in
- Input built-in proteksi tegangan
- Tersedia dalam paket TO220-5L

Tata letak masing-masing komponen atau blok rangkaian dapat dilihat pada gambar berikut ini.



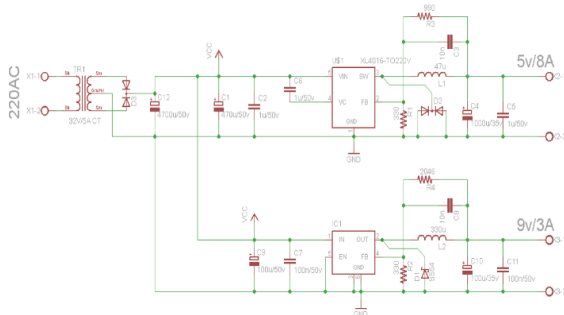
Gambar 12. Tata Letak Blok Rangkaian

Setelah ditutup casing besi, catu daya arus searah keluaran ganda terlihat seperti gambar berikut.



Gambar 13. Penampakan Luar Catu Daya Arus Searah Keluaran Ganda

Dari gambar di atas terlihat bahwa catu daya tersebut memiliki switch untuk power, 2 port keluaran positif (port warna merah) dan 2 port keluaran negative (port warna hitam). Port tersebut berupa terminal binding post yang memungkinkan disambungkan dengan jepit baut, clamp berbentuk C, clamp berbentuk O, jack 5.5 mm, maupun menjepit kabel pada terminalnya. Port yang dekat dengan tombol switch tersambung dengan buck converter berupa LM2596, sehingga keluarannya 9V. Sedangkan, port yang satu lagi tersambung dengan buck converter berupa XL4016, sehingga keluarannya 5V.



Gambar 14. Skema Rangkaian Catu Daya

Cara kerja catu daya arus searah keluaran ganda berdasarkan Gambar 14.

220V_{AC} to 32V_{DC}

- Tegangan 220V_{AC} diturunkan ke 32V oleh Trafo CT & disearahkan dioda D3.
- Tegangan output setengah gelombang D3 diratakan oleh kapasitor bypass C12.

Stepdown 5V

- Output tegangan 24V_{DC} distabilkan oleh C1 & C2 kemudian masuk ke input IC XL4016,
- C6 adalah Bypass Capacitor Internal Voltage Regulator
- Arus PWM dikeluarkan oleh IC XL4016 melalui pin SW.
- Saat arus SW on L1 menyimpan energi dalam betuk medan magnet.
- Saat arus SW off L1 mengubah medan magnet menjadi arus dan mengisi kapasitor C4 & C5.
- D2 sebagai path negatif saat kondisi SW off.
- Pin FB adalah feedback pin, pulsa PWM akan diberikan ke induktor selama pin FB dibawah 1.25v
- R3 & R1 membagi tegangan output menjadi tegangan FB.
- C3 sebagai filter untuk menstabilkan tegangan FB.
- Selama PWM diinjeksikan ke L1, tegangan output akan naik.
- Setelah tegangan FB mencapai 1,25v SW menghentikan pulsa, dan aktif kembali ketika FB turun.
- Proses akan diulang terus sehingga tegangan output terjaga pada 5V.

Stepdown 9V

- Output tegangan 24vDC distabilkan oleh C9 & C7 kemudian masuk ke input IC LM2596,
- Arus PWM dikeluarkan oleh IC LM2596 melalui pin OUT.
- Saat arus OUT on L2 menyimpan energi dalam betuk medan magnet.
- Saat arus OUT off L2 mengubah edan magnet menjadi arus dan mengisi kapasitor C10 & C11.
- D1 sebagai path negatif saat kondisi OUT off.
- Pin FB adalah feedback pin, pulsa PWM akan diberikan ke induktor selama pin FB dibawah 1.25v
- R4 & R2 membagi tegangan output menjadi tegangan FB.
- C8 sebaai filter untuk menstabilkan tegangan FB.
- Selama PWM diinjeksikan ke L2, tegangan output akan naik.
- Setelah tegangan FB mencapai 1,25v SW menghentikan pulsa, dan aktif kembali ketika FB turun.
- Proses akan diulang terus sehingga tegangan output terjaga pada 9V.

Secara sederhana, penjelasan cara kerja catu daya arus searah keluaran ganda adalah sebagai berikut. Pada IC

XL4016, arus PWM dikeluarkan melalui pin SW. Pada IC LM2596, arus PWM dikeluarkan melalui pin OUT. Ketika arus ON, inductor menyimpan energy dalam bentuk medan magnet. Ketika arus off, inductor mengubah medan magnet menjadi arus dan mengisi kapasitor. Kedua IC memiliki pin feedback. Pulsa PWM akan diberikan ke inductor selama pin feedback di bawah 1,25 V. Kemudian dua resistor digunakan sebagai membagi tegangan output menjadi tegangan feedback. Sebuah kapasitor digunakan sebagai filter untuk menstabilkan tegangan feedback. Selama PWM diinjeksikan ke induktor, tegangan output akan naik. Setelah tegangan feedback mencapai 1,25V. Pin SW IC XL4016 atau pin OUT IC LM2596 menghentikan pulsa, dan aktif kembali ketika feedback turun. Proses akan diulang terus sehingga tegangan output terjaga pada 5V dan 9V.



Gambar 15. Keluaran Modul LM2596

Dari Gambar 15 terlihat bahwa tegangan keluaran modul LM2596 sebesar 8,72 V. Berdasarkan datasheet modul, tegangan keluaran seharusnya sebesar 9V. Terdapat selisih 0,28 V. Ini berarti efisiensinya sebesar $8,72 / 9 \times 100\% = 97\%$. Modul IC dalam kondisi baik.



Gambar 16. Gelombang Keluaran Modul LM2596

Gambar 16 menunjukkan bahwa gelombang keluaran berbentuk lurus. Artinya keluaran dari LM2596 berupa arus DC. Filter bekerja sangat efektif sehingga, tidak terdapat ripple.



Gambar 17. Pengujian LM2596 Berbeban

Pada kondisi berbeban, tegangan keluaran LM2596 tetap stabil pada 8,72 V.

Untuk mengetahui seberapa stabil catu daya yang dibuat, penulis melakukan pengujian keluaran LM2596 tiap jam selama 24 jam.

Tabel 1. Pengujian Keluaran LM2596 Selama 24 Jam

No	Pukul	V
1	0:00	8.72
2	1:00	8.71
3	2:00	8.72
4	3:00	8.72
5	4:00	8.72
6	5:00	8.71
7	6:00	8.73
8	7:00	8.71
9	8:00	8.7
10	9:00	8.72
11	10:00	8.7
12	11:00	8.73
13	12:00	8.73
14	13:00	8.7
15	14:00	8.73
16	15:00	8.72
17	16:00	8.71
18	17:00	8.73
19	18:00	8.7
20	19:00	8.7
21	20:00	8.71
22	21:00	8.73
23	22:00	8.72
24	23:00	8.72

Berdasarkan Tabel 1 terlihat bahwa tegangan keluaran LM2596 stabil dengan interval 8,7 V sampai dengan 8,73 V.

Dari Gambar 18 terlihat bahwa tegangan sebesar 4,98 V. Pada saat pengujian, multimeter disambungkan dengan keluaran modul XL4016. Berdasarkan datasheet modul, tegangan keluaran seharusnya sebesar 5V. Terdapat selisih 0,1 V. Ini berarti efisiensinya sebesar $4,98 / 5 \times 100\% = 99,9\%$. Modul IC dalam kondisi baik.

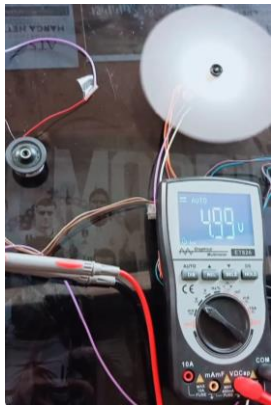


Gambar 18. Keluaran Modul XL4016



Gambar 19. Gelombang Keluaran XL4016

Gambar 19 menunjukkan bahwa gelombang keluaran berbentuk gelombang DC dengan sedikit ripple. Artinya keluaran dari XL4016 berupa arus DC. Filter bekerja kurang efektif sehingga, masih terdapat ripple.



Gambar 20. Pengujian XL4016 Berbeban

Dari Gambar 20 terlihat bahwa pada kondisi berbeban, tegangan keluaran LM2596 tetap stabil, yaitu 4,99V.

Untuk mengetahui seberapa stabil catu daya yang dibuat, penulis melakukan pengujian keluaran LM2596 tiap jam selama 24 jam.

Berdasarkan Tabel 2 terlihat bahwa tegangan keluaran XL4016 stabil dengan interval 4,98 V sampai dengan 5,2 V.

Tabel 2. Perbandingan posisi referensi dengan posisi actual

NO	PUKUL	V
1	0:00	5
2	1:00	4.98
3	2:00	5.2
4	3:00	4.98
5	4:00	4.99
6	5:00	4.99
7	6:00	5
8	7:00	4.99
9	8:00	5.1
10	9:00	4.98
11	10:00	4.99
12	11:00	5.2
13	12:00	4.98
14	13:00	4.98
15	14:00	5.1
16	15:00	5.1
17	16:00	5.2
18	17:00	4.99
19	18:00	5
20	19:00	5.2
21	20:00	5
22	21:00	4.98
23	22:00	5.1
24	23:00	4.99

4. Kesimpulan

Perancangan dan pembuatan catu daya arus searah keluaran ganda telah berhasil dilakukan. Komponen yang digunakan dalam pembuatan catu daya adalah transformator toroid berinti ferit, diode, kapasitor, dan modul *buck converter*. Modul *buck converter* yang digunakan adalah LM2596 dan XL4016. Pada keluaran 5V, tegangan stabil di kisaran angka 4,98 V sampai dengan 5,2 V. Pada keluaran 9V, tegangan stabil di kisaran angka 8,7V sampai dengan 8,72V.

Referensi

- [1]. G. E. Setyawan, "Implementasi Robot Lengan Pemindah Barang 3 DOF Menggunakan Metode Inverse Kinematics," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (J-PTIHK) Universitas Brawijaya*, vol. 2, pp. 2810-2816, 2018.
- [2]. T. Wildi, "Electrical Machines, Drives, and Power Systems Fifth." PrenticeHall, New Jersey, 2002.
- [3]. Z. Sha, X. Wang, Y. Wang, and H. Ma, *Optimal Design of Switching Power Supply*, vol. 112, no. 483. china: wiley, 1966.
- [4]. Istataqomawan, Zuli, Darjat, Agung Warsito. 2002. *Catu Daya Tegangan DC Variabel dengan Dua Tahap Regulasi (Switching dan Linier)*. Jurnal. Teknik Elektro Universitas Diponegoro.
- [5]. Hendrickson. 2010. *Catu Daya Menggunakan Seven Segment*. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri. Universitas Gunadarma.
- [6]. Rahman, M.S. 2007. *Buck Converter Design Issues*. Swedia: Linkoping Institute of Technology.
- [7]. Sutrisno. 1986. *Elektronika Teori Dasar dan Penerapannya*. Bandung: ITB.
- [8]. O. Semiconductor, "Switch-Mode Power Supply Reference Manual," 2002.

- [9]. M. D. Singh and K. B. Khanchandani, "Power Electronics." Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi, 2007.
- [10]. Y. Sawitra, P. Nugroho, E. Firmansyah, W. Dewanto, and R. Hartanto, "Design of a Low Cost High Efficiency Multiple Output Self Oscillating Flyback Converter," vol. 1, no. 2, 2017.
- [11]. 1–8, 2017. L. W. Cahyadi, T. Andromeda, and M. Facta, "Kinerja Konverter Arus Searah Tipe Buck Converter Dengan Umpan Balik Tegangan Berbasis TL494," *Transient*, vol. 6, p. 7, 2017.
- [12]. I. Anggiawan, T. Sukmadi, and M. Facta, "Perancangan Buck Converter Sebagai Pengaturan Laju Kecepatan Motor Dc Pada Gerak Longitudinal Dan Transversal Prototype Overhead Crane," *Transient*, vol. 7, no. 1, p. 319, 2018.
- [13]. P. Scherz and S. Monk, "PRACTICAL ELECTRONICS FOR INVENTORS".
- [14]. F. H. Tambolon, "Perancangan Switching Power Supply untuk Mencatu Sistem Pensaklaran IGBT pada Inverter," 2010.
- [15]. K. Billings and T. Morey. SWITCHINGMODE POWERSUPPLY HANDBOOK. 2011.