

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konverter Elektronika Daya

Konverter elektronika daya merupakan suatu alat yang mengkonversikan daya elektrik dari satu bentuk ke bentuk daya elektrik lainnya di bidang elektronika daya. Konverter elektronika daya terbagi menjadi 4 jenis, di antaranya :

1. Konverter AC – DC (Rectifier)
2. Konverter AC – AC (Cycloconverter)
3. Konverter DC – DC (DC Chopper)
4. Konverter DC – AC (Inverter)

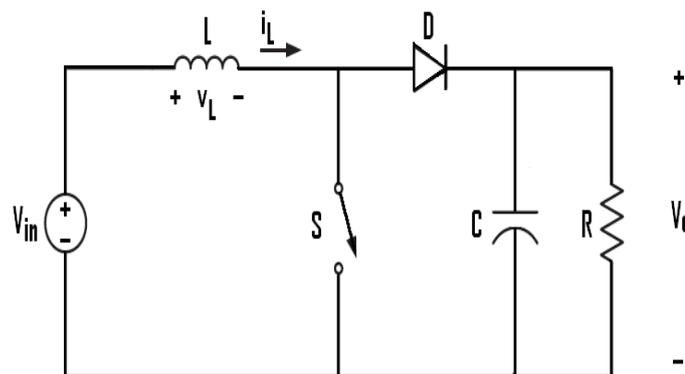
Dc–dc konverter merupakan suatu alat yang mengkonversikan daya listrik searah dari satu bentuk ke bentuk daya listrik searah lainnya.^[1,2,3]

Secara umum, ada tiga rangkaian (topologi) dasar dari konverter dc-dc yaitu *buck*, *boost*, dan *buck-boost*. Rangkaian lain biasanya mempunyai kinerja mirip dengan topologi dasar ini sehingga sering disebut sebagai turunannya. Contoh dari konverter dc-dc yang dianggap sebagai turunan rangkaian *buck* adalah *forward*, *push-pull*, *half-bridge*, dan *full-bridge*. Sedangkan contoh dari turunan rangkaian *boost* adalah konverter yang bekerja sebagai sumber

arus dan tegangan. Jika dari rangkaian *buck-boost* adalah konverter *flyback*. Aplikasi untuk konverter seperti *buck converter* banyak digunakan untuk laptop adapter, *charger battery* dan lainnya. Konverter ini berguna untuk menurunkan tegangan. Untuk *boost converter* banyak digunakan untuk sumber energi terbarukan seperti *photovoltaic system* dan *fuel cells*. Konverter ini berguna untuk menaikkan tegangan ^[1]

2.2 Boost Converter

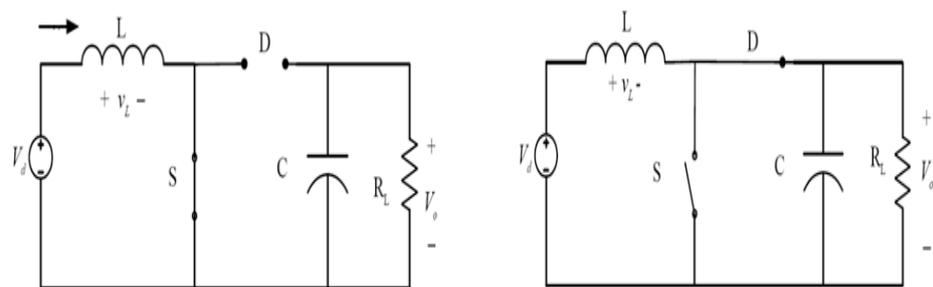
Boost converter berguna untuk mengubah tegangan masukan yang rendah ke tegangan keluaran yang tinggi (penaik tegangan). Konverter ini bekerja secara periodik saat saklar terbuka dan tertutup. Rangkaian dapat dilihat pada Gambar 2.1. Untuk konverter ini, parameter yang dibutuhkan untuk dapat memperoleh rangkaiannya terdiri dari beberapa komponen yaitu saklar daya, dioda frekuensi tinggi, induktor, kapasitor, dan beban resistor. Saklar yang dipakai harus mempunyai respon yang cepat saat keadaan on dan off. Saklar yang dapat digunakan adalah saklar semikonduktor seperti MOSFET .^[2,3]



Gambar 2.1 *Boost Converter* ^[1,2]

2.2.1 Prinsip Kerja *Boost Converter*

Kemampuan *boost converter* untuk menaikkan tegangan dc berkaitan dengan prinsip *switch duration* (ton dan toff *switch*). Saat saklar atau switch mosfet pada kondisi tertutup (ton), arus akan mengalir ke induktor sehingga menyebabkan energi akan tersimpan di induktor. Saat saklar mosfet terbuka (toff), arus induktor ini akan mengalir menuju beban melewati dioda sehingga energi yang tersimpan di induktor akan menurun. Jika dilihat pada Gambar 2.2. Pada saat toff, beban akan disuplai oleh tegangan sumber ditambah dengan tegangan induktor yang sedang melepaskan energinya. Kondisi ini yang menyebabkan tegangan keluaran menjadi lebih besar dibandingkan dengan tegangan masukannya. Rasio antara tegangan keluaran dan tegangan masukan konverter ini sebanding dengan rasio antara periode penyaklaran dan waktu pembukaan saklar.^[2]



a) Saklar ON

b) Saklar OFF

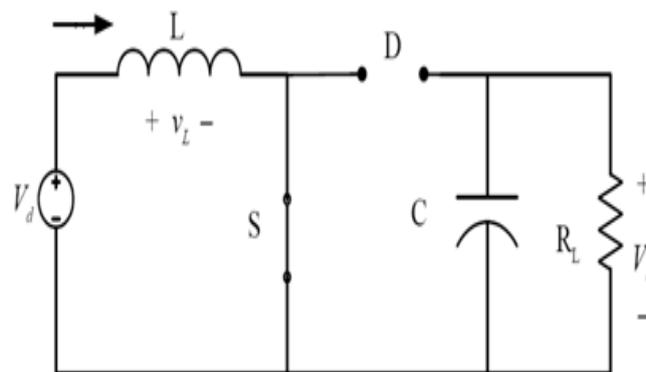
Gambar 2.2 Prinsip Kerja *Boost Converter* ^[1,2]

Dalam Operasionalnya, terdapat dua mode operasi untuk *boost converter*, yaitu *Continuous Conduction Mode* (CCM) dan *Discontinuous Conduction Mode* (DCM). Pada *continuous mode*, arus

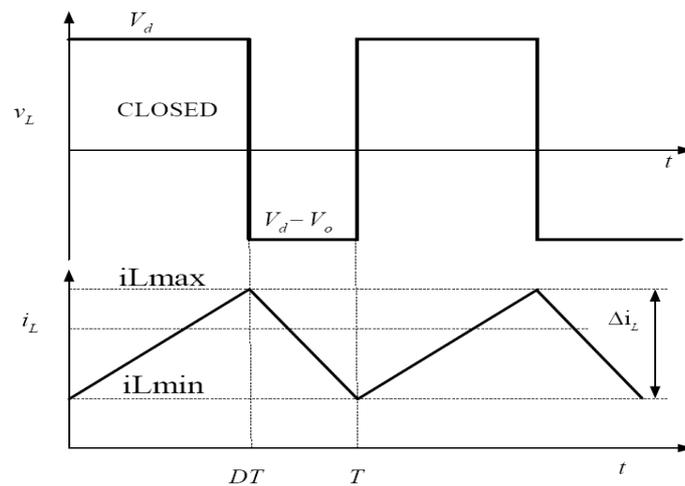
induktor tidak pernah jatuh ke nol dalam semua siklus pensaklaran. Sedangkan untuk *discontinuous mode*, arus pada induktor akan jatuh ke nol sebelum selesai satu periode pensaklaran.^[1,2]

2.2.2 Analisa Rangkaian *Boost Converter*

Boost Converter bekerja dalam dua keadaan operasi. Kondisi yang pertama saat saklar ON dan kedua saat saklar OFF. Saat dalam kondisi saklar ON, dioda menjadi *reverse bias* dan besar arus induktor akan menyamai arus masukan. Begitu juga dengan tegangan induktor akan sama besarnya dengan tegangan masukan. Dalam kondisi saklar ON, induktor akan menyimpan energi. Waktu saat saklar dalam keadaan ON disebut DT . Gambar 2.3 menunjukkan rangkaian dari *boost converter* saat saklar ON dan gambar 2.4 menunjukkan arus induktor dan tegangan induktor *boost converter*.^[2]



Gambar 2.3 Saklar ON^[2]



Gambar 2.4 Arus dan Tegangan Induktor [2]

Saat saklar dalam kondisi selama DT ,

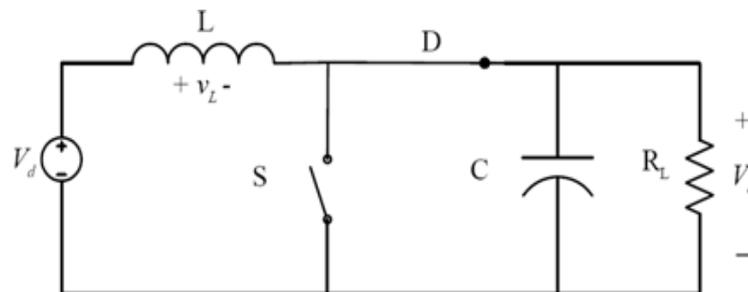
$$V_1 = V_d \quad (2.1)$$

$$V_1 = L \frac{di_1}{dt} \quad (2.2)$$

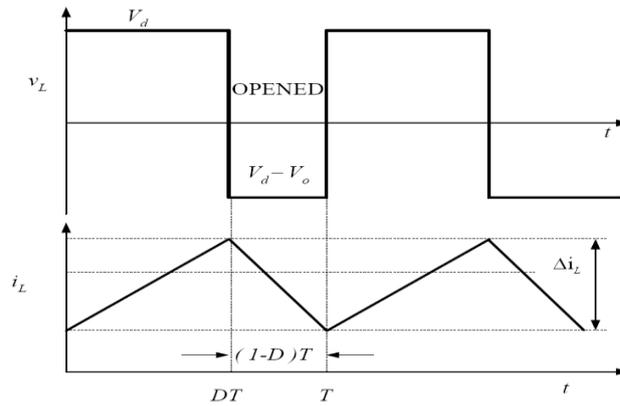
$$\frac{V_d}{L} = \frac{di_1}{dt} \quad (2.3)$$

$$\Delta i_1(\text{closed}) = \frac{V_d D t}{L} \quad (2.4)$$

Saat saklar OFF pada waktu $(1-D) T$. Gambar 2.5 menunjukkan rangkaian saat saklar OFF. Gambar 2.6 menunjukkan arus dan tegangan induktor.



Gambar 2.5 Saklar OFF [2]



Gambar 2.6 Arus dan Tegangan Induktor ^[2]

Saat saklar OFF pada waktu $(1 - D) T$,

$$V_1 = V_d - V_o \quad (2.5)$$

$$V_1 = L \frac{di_1}{dt} \quad (2.6)$$

$$\frac{V_d - V_o}{L} = \frac{di_1}{dt} \quad (2.7)$$

$$\Delta i_1(\text{open}) = \frac{(V_d - V_o) T}{L} \quad (2.8)$$

Untuk keadaan *steady state*, perubahan di arus induktor harus nol,

$$\Delta i_1(\text{open}) + \Delta i_1(\text{closed}) = 0 \quad (2.9)$$

$$\frac{(V_d - V_o)(1-D)T}{L} + \frac{V_d D t}{L} = 0 \quad (2.10)$$

$$V_o = \frac{V_d}{1-D} \quad (2.11)$$

Dari persamaan di atas, kita tahu tegangan keluaran dari *boost converter* di kontrol oleh besar nilai *duty cycle*, D .

Untuk arus induktor rata – rata,

$$\text{Daya input} = \text{daya output} \quad (2.12)$$

$$VdI_d = \frac{V_o^2}{R} \quad (2.13)$$

$$I_d = I_1 \quad (2.14)$$

$$V_o = \frac{V_d}{1-D} \quad (2.15)$$

$$VdI_1 = \frac{\left(\frac{V_d}{1-D}\right)^2}{R} \quad (2.16)$$

$$I_1 = \frac{V_d}{(1-D)^2 R} \quad (2.17)$$

Maksimum dan minimum arus induktor telah diberikan pada persamaan,

$$I_{1(max/min)} = I_1 \pm \frac{\Delta I_1}{2} \quad (2.18)$$

Ripple tegangan keluaran diberikan pada persamaan,

$$\Delta V_o = \frac{V_o \cdot D}{R \cdot C \cdot f} \quad (2.19)$$

Sedangkan *ripple* arus masukan diberikan persamaan,

$$\Delta I_{in} = \frac{V_{in} \cdot D}{f \cdot L} \quad (2.20)$$

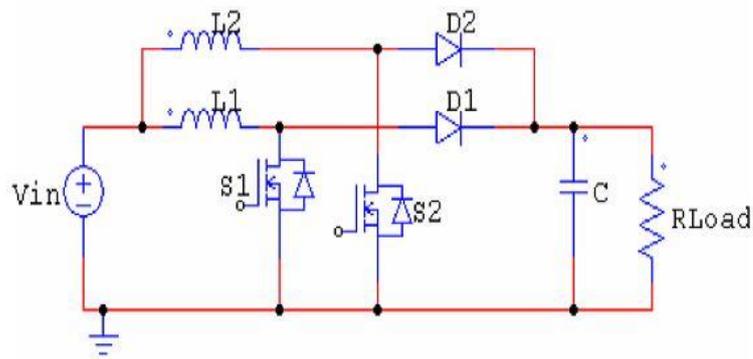
2.3 Interleaved Converter

Interleaved Converter merupakan bentuk modifikasi dari sebuah dc-dc konverter yang berguna untuk menambah *performance* konverter seperti

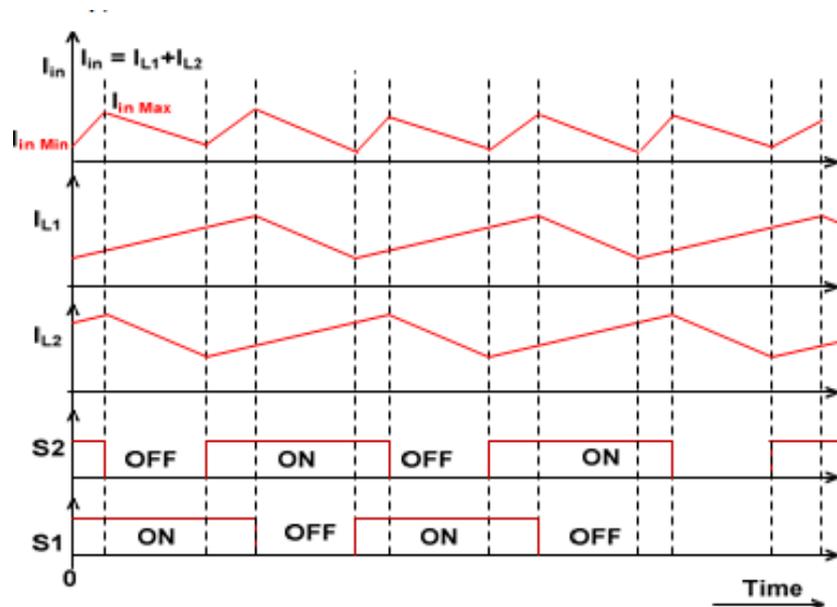
efisiensi, ukuran dan konduktansi elektromagnet. Namun *interleaved converter* ini, masih terdapat kekurangan seperti penambahan induktor, *power switching device*, dan *output rectifier*. *Interleaved* biasa disebut juga teknik *multiphasing* dimana sangat berguna untuk mengurangi ukuran atau nilai dari komponen filter. Pada *interleaved* ada lebih dari satu *power switch*. Perbedaan fasa untuk dua *switch* sebesar 180° . *Interleaving* ini berguna menaikkan frekuensi pulsa yang efektif yang di berikan oleh beberapa sumber yang lebih kecil dan mengoperasikannya dengan pergeseran fasa yang relatif. Di elektronika daya, aplikasi *interleaving* dapat ditemukan khususnya di aplikasi yang memerlukan daya yang tinggi. Tegangan dan arus yang bertekanan dapat dengan mudah melewati dari *range power deviceny*. Satu solusi untuk masalah ini dengan cara menghubungkan kelipatan *power device* dengan cara seri atau memparalelkan. Namun, dengan memparalelkan *device* akan lebih baik untuk membatalkan harmonisa, menambah efisiensi, mengurangi panas dan kepadatan daya yang tinggi dapat diperoleh.^[2]

2.4 Interleaved Boost Converter

Interleaved boost converter terdiri dari 'n' *single boost converter* yang dihubungkan secara paralel, dapat dilihat pada Gambar 2.7. Untuk *interleaved* dengan dua saklar, perbedaan fasa sinyal operasi pensaklarannya sebesar 180° . Besar nilai itu didapat dari $360/n$, dimana n adalah jumlah dari *boost converter* yang diparalelkan. Untuk dua fasa *interleaved boost converter* (n=2), dimana sinyal operasi pensaklarannya digeser sebesar 180° . Hal ini dapat di lihat pada gambar 2.8.^[3,4,5]



Gambar 2.7 Rangkaian *Interleaved Boost Converter* ^[3,4]



Gambar 2.8 Gelombang Arus Masukan dan Induktor Terhadap Sinyal Pensaklaran Dengan Perbedaan Fasa 180⁰ ^[3]

Untuk analisa keadaan *steady state* pada *interleaved boost converter*, terdapat parameter-parameter penting, yaitu: ^[3]

1. *Duty Ratio*

Duty ratio dari *interleaved boost converter* adalah sama dengan *boost converter*.

$$V_o = \frac{v_d}{1-D} \quad (2.21)$$

Dimana V_o adalah tegangan keluaran, V_d adalah tegangan masukan dan D adalah *duty ratio*.

2. Arus Input

Untuk menghitung arus masukan, kita dapat menggunakan daya masukan dibagi dengan tegangan masukan.

$$I_{in} = \frac{P_{in}}{V_d} \quad (2.22)$$

3. Ripple Arus Induktor

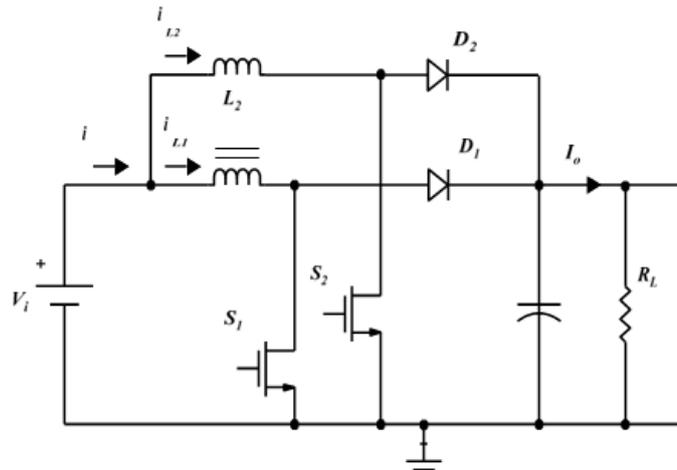
Besar *amplitude ripple* arus induktor adalah sama dengan *boost converter*.

$$\Delta I_{l1, l2} = \frac{V_d \cdot D}{f \cdot L} \quad (2.23)$$

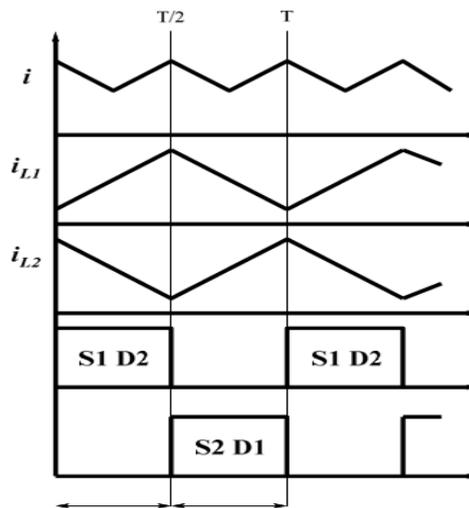
Dimana f adalah frekuensi pensaklaran, D adalah *duty cycle*, V_d adalah tegangan masukan.

2.4.1 Topologi *Interleaved Boost Converter*

Gambar 2.7 menunjukkan rangkaian standar dari *interleaved boost converter*. Untuk rangkaian ini, parameternya terdiri dari dua induktor L_1 dan L_2 , dua saklar S_1 dan S_2 , dua dioda D_1 dan D_2 dan *duty cycle* dengan perbedaan fasa yang relatif. Gambar 2.8 memperlihatkan gelombang ideal untuk arus di induktor L_1 dan L_2 pada *interleaved boost converter* ^[3]



Gambar 2.9 Topologi *Interleaved Boost Converter* ^[3]



Gambar 2.10 Gelombang Ideal Untuk Arus Induktor \$L_1\$ dan \$L_2\$ ^[3]

2.4.2 Analisa Rangkaian *Interleaved Boost Converter*

Untuk *interleaved boost converter*, terdapat 4 operasi keadaan. Keadaan pertama adalah saat kedua saklar \$S_1\$ dan \$S_2\$ ON, keadaan kedua saat \$S_1\$ ON \$S_2\$ OFF, keadaan ketiga saat \$S_1\$ OFF \$S_2\$ ON, dan terakhir saat kedua saklar \$S_1\$ dan \$S_2\$ OFF. Selama t_{close} , perubahan

waktunya adalah DT , selama t_{open} , perubahan waktunya adalah $(1-D)T$.

Berikut penjelasan dari 4 keadaan operasi *interleavead* : ^[3,4]

a) S1 dan S2 ON

Saat S1 dan S2 ON, induktor L1 dan L2 akan mulai menyimpan energi. Dalam hal ini, nilai dari arus induktor akan naik.

$$\frac{dIL1}{dt} = \frac{Vin}{L1} \quad (2.24)$$

$$\frac{dIL2}{dt} = \frac{Vin}{L2} \quad (2.25)$$

b) S1 ON S2 OFF

Saat S1 ON dan S2 OFF, hanya induktor L1 yang menyimpan. Dalam hal ini arus induktor L1 akan naik, sementara arus pada induktor L2 berkurang. Induktor L2 melepaskan energi.

$$\frac{dIL1}{dt} = \frac{Vin}{L1} \quad (2.26)$$

$$\frac{dIL2}{dt} = \frac{Vo-Vin}{L2} \quad (2.27)$$

c) S1 OFF S2 ON

Selama keadaan ini, L1 melepaskan energi sementara L2 menyimpan energi. Arus induktor I_{L1} berkurang dan I_{L2} bertambah.

$$\frac{dIL1}{dt} = \frac{Vo-Vin}{L1} \quad (2.28)$$

$$\frac{dIL2}{dt} = \frac{Vin}{L2} \quad (2.29)$$

d) S1 dan S2 OFF

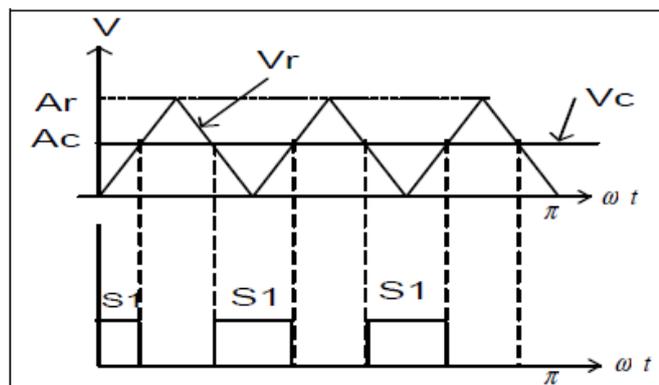
Kedua induktor akan melepaskan energi dan juga arus induktor akan berkurang.

$$\frac{dIL1}{dt} = \frac{Vo-Vin}{L1} \quad (2.30)$$

$$\frac{dIL2}{dt} = \frac{Vo-Vin}{L2} \quad (2.31)$$

2.5 Pulse Width Modulation (PWM)

Modulasi lebar pulsa atau yang lebih dikenal dengan sebutan PWM (*Pulse Widht Modulation*) merupakan suatu teknik yang membandingkan sinyal referensi dengan sinyal *carrier*. Pada umumnya untuk sinyal *carrier* berupa gelombang segitiga. Apabila amplitude sinyal referensi berada di atas amplitude sinyal *carrier* maka dihasilkan sinyal “*high*” dan jika amplitude sinyal referensi berada di bawah amplituda sinyal *carrier* maka dihasilkan sinyal “*low*”.^[5] Pada gambar 2.11 berikut menunjukkan hasil perbandingan tersebut dimana mempunyai nilai *duty cycle* tertentu.^[3,5]



Gambar 2.11 Pulse width Modulation^[5]

Duty cycle adalah perbandingan antara waktu konduksi dibagi dengan total waktu antara konduksi dan tidak konduksi dikalikan seratus persen. Pengertian *duty cycle* tersebut dapat dituangkan dalam persamaan dibawah ini.

$$Duty\ Cycle = \frac{t_{on}}{t_{on}+t_{off}} \times 100\% \quad (2.32)$$

Dari *duty cycle* tersebut nantinya akan dipakai untuk memberikan waktu konduksi kepada komponen semikonduktor. Didalam teknik PWM, pulsa penyalan 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). Dalam menghasilkan sinyal PWM ini dapat dihasilkan melalui komponen analog dan komponen digital. Untuk komponen analog dapat menggunakan komponen berbagai jenis IC untuk menghasilkan sinyal PWM. Sedangkan untuk komponen digital biasanya menggunakan berbagai jenis mikrokontroler sebagai komponen untuk menghasilkan sinyal PWM.^[6]

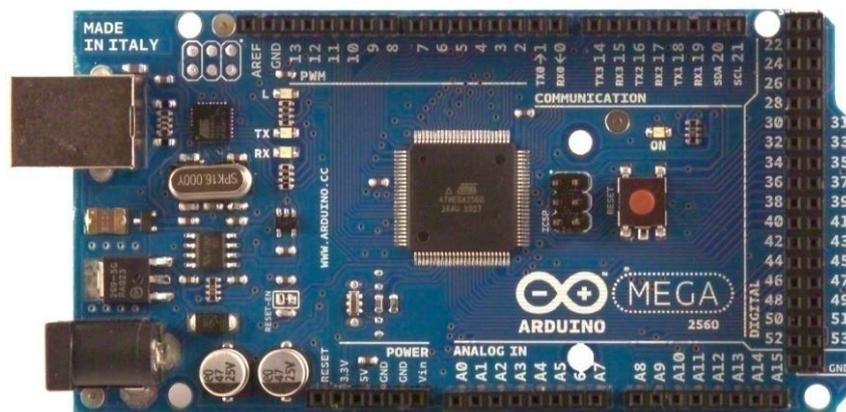
2.5.1 Mikrokontroler Arduino Mega 2560

Mikrokontroler adalah sebuah chip yang berfungsi sebagai pengontrol rangkaian elektronik dan umumnya dapat menyimpan program didalamnya. Mikrokontroler umumnya terdiri dari *CPU (Central Processing Unit)*, memori, I/O tertentu dan unit pendukung seperti *Analog-to-Digital Converter (ADC)* yang sudah terintegrasi di dalamnya. Pada penelitian ini digunakan Arduino Mega 2560 sebagai kontroler dan penghasil sinyal *PWM*. Arduino Mega 2560 adalah salah satu jenis mikrokontroler Arduino yang menggunakan prosesor ATmega2560. Arduino ini memiliki 54 pin I/O digital (15 diantaranya dapat berfungsi sebagai *PWM*), 16 input analog, 4 UART (*serial port*), 16 MHz Osilator kristal, koneksi *USB*, konektor daya, *ICSP*, dan tombol reset. Bahasa program yang digunakan adalah bahasa C dengan perangkat lunak kompilernya adalah *sketch* atau *Arduino IDE* .

Berikut adalah spesifikasi teknis Arduino Mega 2560 dijelaskan pada Tabel 2.1 berikut.

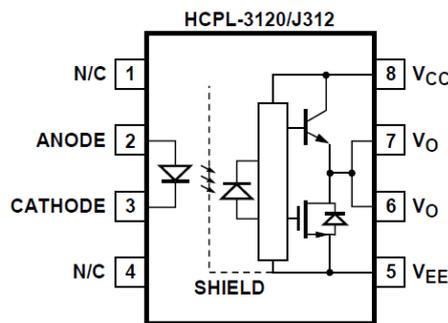
Tabel 2.1. Spesifikasi Teknis Arduino Mega 2560

Mikrokontroler	ATmega2560
Tegangan Operasi	5V
Tegangan masuk (rekomendasi)	7-12V
Tegangan masuk (batas)	6-20V
Pin I/O Digital	54 (15 diantaranya dapat berfungsi sebagai PWM)
Pin Input Analog	16
Arus DC per I/O Pin	40 mA
Arus DC pada Pin 3.3V	50 mA
Memori <i>Flash</i>	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Kecepatan <i>clock</i>	16 MHz

**Gambar 2.12.** Arduino Mega 2560

2.6 Rangkaian Pemicu *Gate* Mosfet (*Gate Driver*)

Komponen mosfet pada *boost converter* agar dapat difungsikan sebagai saklar, maka mosfet harus bekerja pada kondisi saturasinya. Kondisi saturasi mosfet ini dapat dibentuk dengan memberikan tegangan *gate-source* berkisar antara 12 - 15 Volt. Karena tegangan keluaran dari mikrokontroler arduino ini adalah 5 Volt maka diperlukan rangkaian penguat / pemicu *gate* pada mosfet yang disebut sebagai rangkaian *gate driver*.^[8] Pada penelitian ini rangkaian *gate driver* dibuat dengan menggunakan IC HCPL 3120, yang berfungsi menguatkan tegangan PWM kontrol arduino dari 5 Volt menjadi 15 Volt. Konfigurasi pin dari IC HCPL 3120 ini dijelaskan pada gambar 2.12 berikut :



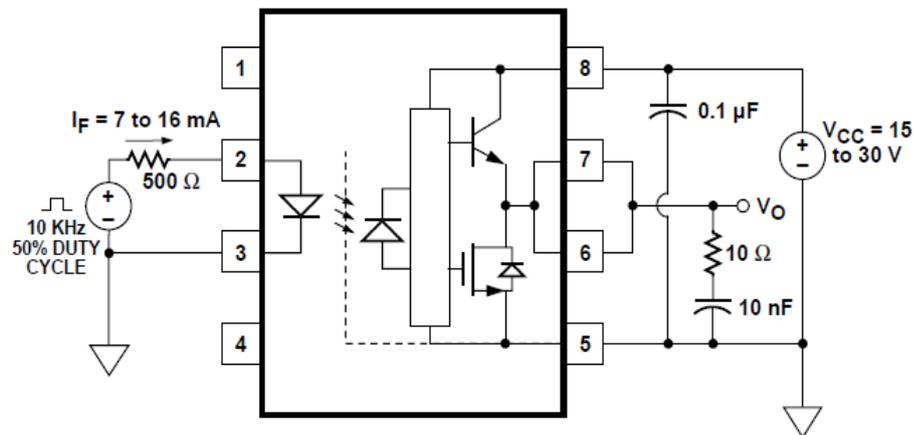
Gambar 2.13. Konfigurasi pin IC HCPL 3120

Pada dasarnya IC HCPL adalah IC *Optocoupler*, dimana prinsipnya mengkonversi sinyal kontrol menjadi cahaya. Cahaya ini kemudian akan diterima oleh *receiver* (dapat berupa photodiode atau phototransistor) berupa transduser yang menghasilkan tegangan yang lebih besar dengan karakteristik yang sama dengan tegangan input. Karakteristik dari IC HCPL 3120 ini dijelaskan pada Tabel 2.2 berikut :

Tabel 2.2. Tabel Kebenaran / karakteristik IC HCPL 3120.

LED	$V_{CC} - V_{EE}$	V_o
OFF	0 – 30 V	LOW
ON	0 – 11 V	LOW
ON	11 – 13.5 V	TRANSITION
ON	13.5 – 30 V	HIGH

Karakteristik dari IC HCPL ini adalah ketika LED ON dengan tegangan catu daya berkisar antara 13.5 – 30 Volt maka tegangan keluaran (V_o) akan HIGH (15 Volt). Dan ketika LED OFF dengan tegangan catu daya berkisar antara 13.5 – 30 Volt maka tegangan keluaran (V_o) akan LOW (0 Volt) . Sistem minimum dari IC HCPL 3120 dijelaskan pada Gambar 2.13 dibawah ini:

**Gambar 2.14.** Sistem Minimum IC HCPL 3120