

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

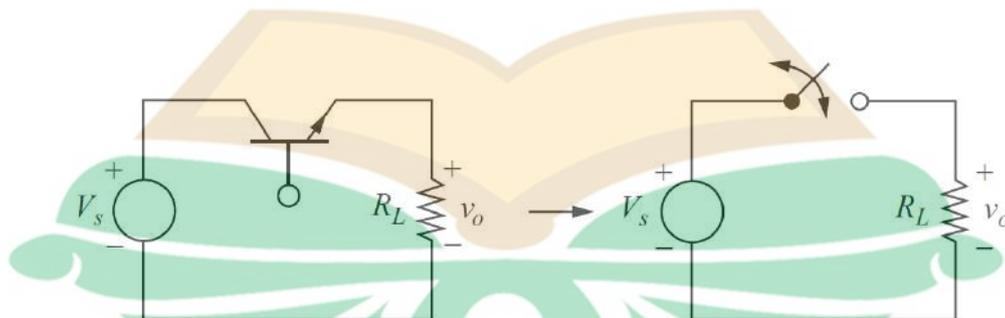
Bab ini berisi tentang dasar teori dari penelitian yang akan dilakukan. Adapun yang menjadi dasar teori yakni, DC-DC *converter*, *boost converter*, *quadratic boost converter* dan deskripsi singkat mikrokontroler yang digunakan.

#### 2.1 DC/DC Converter

DC/DC *converter* didesain untuk memenuhi kebutuhan akan efisiensi konversi daya untuk sistem yang aman dan konversi tegangan DC yang baik untuk berbagai jenis komponen elektronik. Dalam waktu yang cukup lama, *transformer*, *rectifier* dan *linear regulator* telah menjadi sistem konversi energi yang paling umum. Namun, DC/DC *converter* muncul untuk menggantikan *linear regulator* dengan kelebihan utama berupa *switching control* (Roberts, 2015).

#### 2.2 Dasar Switching Converter

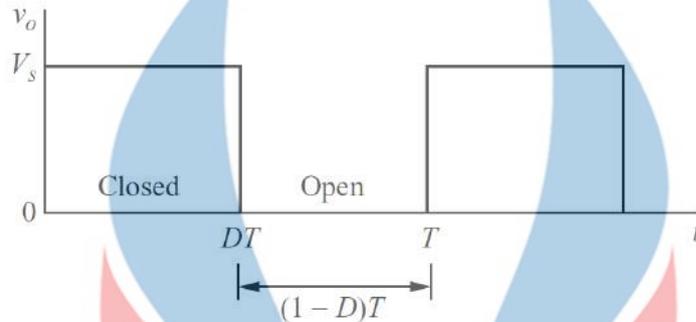
*Switching converter* adalah alternatif lain dari *linear regulator* yang menawarkan efisiensi yang lebih baik. Pada sebuah rangkaian *switching converter*, transistor berperan sebagai sakelar elektronik yang bekerja dengan cara menutup sepenuhnya atau membuka sepenuhnya (Hart, 2011).



Gambar 2.1 Dasar DC/DC *switching converter* dan *switching equivalent* (Hart, 2011)

Pada gambar 2.1, lingkaran di sebelah kiri dengan keterangan  $V_s$  adalah tegangan masukan, pada sisi atas ada *switch*, dan resistor di sisi kanan sebagai

beban. *Switch* diasumsikan ideal sehingga tegangan keluaran akan sama dengan tegangan masukan ketika *switch* tertutup dan tegangan keluaran akan bernilai nol jika *switch* dalam keadaan terbuka. Hasil dari proses buka tutup *switch* secara periodik ditampilkan pada gambar 2.2 (Hart, 2011).



Gambar 2.2 Tegangan keluaran *switching converter* (Hart, 2011)

Pada gambar 2.2, sumbu vertikal merepresentasikan tegangan dan sumbu horizontal merepresentasikan waktu. *Closed* adalah waktu ketika *switch* tertutup dan *open* adalah kondisi ketika *switch* terbuka (Rashid, 2001). Nilai tegangan keluaran rata-rata dari *switching converter* dituliskan pada persamaan 2.1.

$$V_o = \frac{1}{T} \int_0^T V_o(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{DT} V_s dt = V_s D \quad (2.1)$$

Besarnya nilai tegangan keluaran ditentukan dengan mengatur rasio periode *duty cycle* (D), yaitu perbandingan periode penutupan sakelar terhadap periode total penyaklaran (Rashid, 2001).

$$D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T} \quad (2.2)$$

D merepresentasikan *duty cycle*,  $t_{on}$  sebagai periode sakelar tertutup dalam sekon,  $t_{off}$  sebagai periode sakelar terbuka dalam sekon, T sebagai periode total penyaklaran dalam sekon dan f adalah frekuensi penyaklaran dalam Hz. Hasil tegangan keluaran akan bernilai sama atau lebih kecil dari level tegangan masukan dari rangkaian (Rashid, 2001).

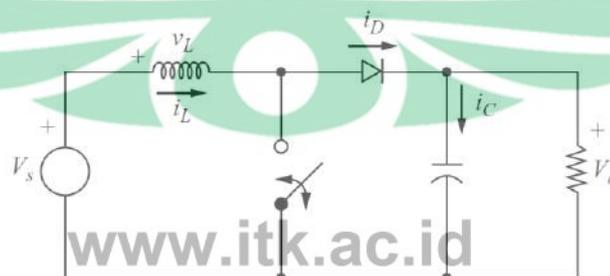
Pada kondisi ideal, daya yang diserap oleh *switch* bernilai nol. Ketika *switch* dalam keadaan terbuka, tidak ada arus pada rangkaian, dan ketika *switch*

dalam keadaan tertutup, tidak ada beda tegangan antara kedua sisi. Oleh karena itu, dengan efisiensi 100%, semua daya akan diserap oleh beban. Namun, pada kenyataannya rugi-rugi terjadi karena tegangan yang melewati *switch* tidak bernilai nol ketika *switch* dalam keadaan aktif (Hart, 2011).

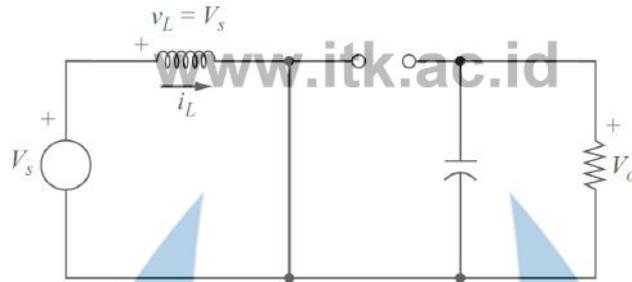
### 2.3 *Boost Converter*

Seperti konverter pada umumnya, *boost converter* beroperasi dengan sistem buka-tutup sakelar elektronik secara periodik (Hart, 2011). Penamaan *boost converter* mengacu pada tegangan keluaran yang dihasilkan konverter ini lebih besar daripada tegangan masukannya (Rashid, 2001). Keuntungan penggunaan *boost converter* adalah tegangan *output* dapat divariasikan sama atau di atas tegangan masukan dengan menggunakan sinyal PWM. Ini membuatnya sesuai untuk penggunaan pada keluaran baterai yang rendah menuju kebutuhan level tegangan yang lebih tinggi untuk komponen elektronika tertentu (Roberts, 2015).

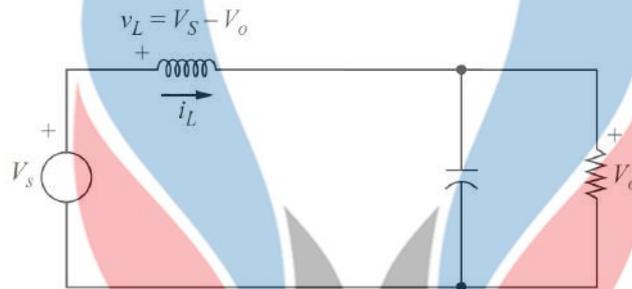
*Boost converter* terdiri dari beberapa komponen seperti yang terlihat pada gambar 2.3. Pada sisi kiri terdapat tegangan masukan dengan gambar lingkaran dan keterangan  $V_s$ . Tanda positif dan negatif menandakan bahwa tegangan masukan berupa tegangan DC. Paralel dengan tegangan masukan, terdapat *switch* di sebelah kanan tegangan masukan, beban berupa resistor pada posisi paling kiri serta kapasitor yang diapit oleh *switch* dan resistor. Selanjutnya, pada bagian atas sebelah kiri terdapat induktor dan di sebelah kanan atas terdapat dioda. Keterangan  $i_L$ ,  $i_D$  dan  $i_C$  menunjukkan arah arus pada rangkaian. Semetara itu,  $V_L$  merepresentasikan tegangan pada induktor dan  $V_o$  adalah tegangan pada resistor sebagai beban. Penjelasan untuk komponen pada gambar 2.4 dan gambar 2.5 sama dengan gambar 2.3, hanya saja dioda dan *switch* aktif tidak digambarkan karena kedua gambar menjelaskan tentang cara kerja rangkaian (Hart, 2011).



Gambar 2.3 Rangkaian *boost converter* (Hart, 2011)



Gambar 2.4 Rangkaian ekivalen sakelar tertutup *boost converter* (Hart, 2011)



Gambar 2.5 Rangkaian ekivalen sakelar terbuka *boost converter* (Hart, 2011)

Sistem bekerja dengan proses buka-tutup *switch* sehingga terdapat dua mode, yakni *switch close* dan *switch open*. Ketika *switch* tertutup, arus akan melewati *switch* dan bukan dioda. Hukum tegangan Kirchof yang berlaku pada jalur tertutup dari sumber, induktor dan sakelar yang tertutup dijelaskan oleh persamaan 2.3 (Hart,2011).

$$V_L = V_s = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.3)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s}{L} \quad (2.4)$$

Laju perubahan arus dalam keadaan konstan, sehingga arus meningkat secara linear selama *switch* tertutup. Perubahan arus pada induktor dijelaskan dengan persamaan 2.5 sehingga persamaan untuk  $\Delta i_L$  ketika sakelar tertutup pada persamaan 2.6 (Rashid, 2001).

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_s}{L} \quad (2.5)$$

$$\Delta i_{L(\text{closed})} = \frac{V_s DT}{L} \quad (2.6)$$

Ketika *switch* terbuka, arus induktor tidak berubah dengan segera dan dioda menjadi bias maju untuk menyediakan alur untuk pelepasan arus induktor. (Hart, 2011). Dengan asumsi tegangan keluaran konstan, maka tegangan yang melalui induktor dijelaskan dengan persamaan 2.7.

$$V_L = V_s - V_o = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.7)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L} \quad (2.8)$$

Arus pada induktor berubah dengan **linear** ketika *switch* terbuka. Perubahan arus induktor tersebut dapat dijelaskan oleh persamaan 2.9. Sehingga diperoleh persamaan untuk  $\Delta i_L$  ketika sakelar tertutup pada persamaan 2.10 (Hart, 2011).

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = \frac{V_s - V_o}{L} \quad (2.9)$$

$$\Delta i_{L(\text{open})} = \frac{(V_s - V_o)(1-D)T}{L} \quad (2.10)$$

Untuk operasi *steady state*, perubahan total arus induktor harus bernilai nol. Dengan substitusi persamaan 2.6 dan 2.10 ke persamaan 2.11 diperoleh persamaan 2.13 sebagai persamaan untuk  $V_o$  (Hart, 2011).

$$\Delta i_{L(\text{closed})} + \Delta i_{L(\text{open})} = 0 \quad (2.11)$$

$$\frac{V_s DT}{L} + \frac{(V_s - V_o)(1-D)T}{L} = 0 \quad (2.12)$$

$$V_o = \frac{V_s}{1-D} \quad (2.13)$$

Arus rata-rata induktor dapat diperoleh dengan menganggap daya masukan sama dengan daya keluaran seperti pada persamaan 2.14 sehingga diperoleh persamaan 2.16. Sementara itu, arus maksimum dan minimum dari induktor dapat

diperoleh dengan menggabungkan persamaan arus rata-rata dan perubahan arus seperti pada persamaan 2.17 dan 2.18. Selanjutnya, nilai induktor minimal dapat diperoleh dari persamaan 2.18 dengan menganggap arus induktor minimal 0 ampere (Hart, 2011).

$$V_s I_L = \frac{V_o^2}{R} \quad (2.14)$$

$$V_s I_L = \frac{\left(\frac{V_s}{1-D}\right)^2}{R} \quad (2.15)$$

$$I_L = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} \quad (2.16)$$

$$I_{\max} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} + \frac{V_s D T}{2L} \quad (2.17)$$

$$I_{\min} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} - \frac{V_s D T}{2L} \quad (2.18)$$

$$(L f)_{\min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2} \quad (2.19)$$

$$L_{\min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f} \quad (2.20)$$

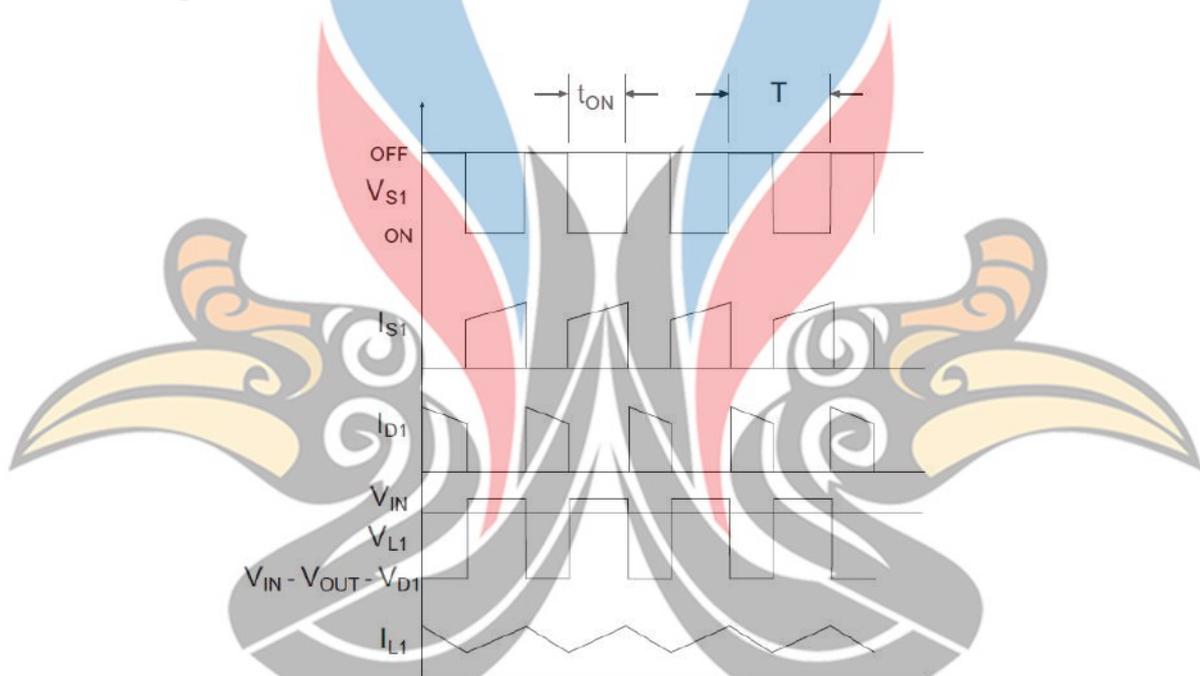
Dalam proses *discharge* kapasitor, energi kapasitor berkurang untuk menyuplai arus keluaran. Riak tegangan adalah perubahan nilai tegangan dalam kapasitor dari maksimum sampai minimum (Tattiwong dan Bunlaksananusorn, 2014).

$$\Delta Q = C \Delta V_o = \left(\frac{V_o}{R}\right) D T \quad (2.21)$$

$$\Delta V_o = \frac{V_o D T}{R C} = \frac{V_o D}{R C f} \quad (2.22)$$

Pada subbab 2.3 terdapat 19 persamaan dengan simbol yang serupa.  $V_L$ ,  $V_s$  dan  $V_o$  masing-masing merepresentasikan tegangan pada sisi masukan, tegangan pada induktor dan tegangan sisi keluaran.  $R$ ,  $L$  dan  $C$  adalah komponen

dengan masing-masing menunjukkan resistansi resistor, induktansi induktor dan kapasitansi kapasitor.  $T$  dapat dijelaskan sebagai periode dan  $f$  dapat dijelaskan sebagai frekuensi.  $T$  biasanya selalu diikuti  $D$  yang merepresentasikan *duty cycle*. Terdapat pula simbol  $d$  atau  $\Delta$  yang merepresentasikan perubahan ketika *switch* aktif dan nonaktif.  $\Delta V_C$  dapat dijelaskan sebagai *ripple*, yang mana artinya perubahan tegangan kapasitor ketika *switch* aktif dan nonaktif.  $i_L$  seperti pada subbab sebelumnya dijelaskan sebagai arus yang mengalir pada induktor dan  $t$  merepresentasikan waktu. Ada pula simbol tambahan yakni  $Q$  yang merepresntasikan muatan listrik (Hart, 2011).



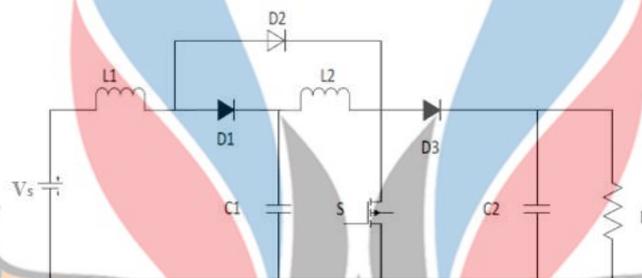
Gambar 2.6 Skema sederhana dan karakteristik *boost converter* (Roberts, 2015)

Gambar 2.6 menjelaskan karakteristik dari setiap parameter pada *boost converter*.  $T$  dapat dijelaskan sebagai periode atau keadaan selama satu siklus penyakelaran dan  $t_{on}$  atau *on* adalah waktu ketika sakelar aktif serta *off* yang menandakan sakelar nonaktif. Pada bagian teratas terdapat kondisi  $V_{S1}$  atau tegangan pada sakelar yang keadaannya dapat dilihat pada gambar. Selanjutnya ada  $I_{S1}$  atau arus pada sakelar yang nilainya naik ketika sakelar aktif dan langsung bernilai nol ketika sakelar nonaktif. Di bawahnya ada  $i_D$  yang merepresentasikan arus listrik yang mengalir pada dioda. Nilai arus tersebut semakin turun ketika sakelar nonaktif dan langsung bernilai nol ketika sakelar aktif. Di bawahnya lagi

terdapat  $V_L$  atau tegangan pada induktor yang nilainya sama dengan tegangan masukan ketika sakelar aktif. Pada bagian terbawah terdapat perubahan arus pada induktor yang mana nilainya setara dengan penggabungan nilai maksimal arus pada sakelar dan dioda (Roberts, 2015).

## 2.4 *Quadratic Boost Converter*

*Quadratic boost converter* dengan sakelar tunggal ditampilkan oleh gambar 2.7. Rangkaian ini terdiri dari sebuah sakelar aktif dan tiga buah sakelar pasif berupa dioda (Tattiwong dan Bunlaksananusorn, 2014).



Gambar 2.7 *Quadratic boost converter* (Kumar dkk, 2016)

*Quadratic boost converter* terdiri dari beberapa komponen seperti yang terlihat pada gambar 2.7. Pada sisi kiri terdapat tegangan masukan dengan keterangan  $V_s$ . Tanda positif dan negatif menandakan bahwa tegangan masukan berupa tegangan DC. Paralel dengan tegangan masukan, terdapat kapasitor 1 di sebelah kanan tegangan masukan, dan *switch* tepat di bagian tengah. Beban berupa resistor terletak pada posisi paling kiri serta kapasitor 2 yang diapit oleh *switch* dan resistor. Selanjutnya, pada bagian atas sebelah kiri terdapat induktor, kemudian semakin ke kanan ada dioda 1 diikuti induktor 2 dan dioda 3. Pada bagian teratas terdapat dioda 2. Penjelasan untuk komponen pada gambar 2.8 dan gambar 2.9 sama dengan gambar 2.7, hanya saja dioda dan *switch* aktif tidak digambarkan karena kedua gambar menjelaskan tentang cara kerja rangkaian (Kumar dkk, 2016).

Sakelar S diasumsikan ideal sebagai dasar operasi sistem ini. Pada mode pertama, yakni ketika sakelar S tertutup, D2 akan dalam keadaan bias maju sedangkan D1 dan D3 dalam keadaan bias mundur.  $L_1$  dan  $L_2$  akan disuplai arus

dari  $V_s$  dan  $C_1$ . Peningkatan arus induktor pada mode pertama direpresentasikan oleh persamaan 2.23 dan 2.24 (Tattiwong dan Bunlaksananusorn, 2014).

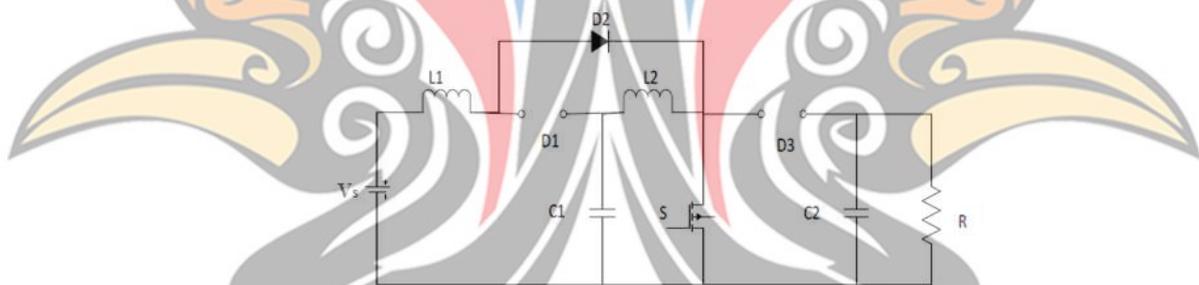
$$\Delta i_{L1(\text{closed})} = \frac{V_s DT}{L_1} \quad (2.23)$$

$$\Delta i_{L2(\text{closed})} = \frac{V_{C1} DT}{L_2} \quad (2.24)$$

$T$  adalah periode penyakelaran dan  $D$  adalah lebar pulsa. Sementara itu, arus kapasitor direpresentasikan oleh persamaan 2.25 untuk kapasitor 1 dan persamaan 2.26 untuk kapasitor 2 (Tattiwong dan Bunlaksananusorn, 2014).

$$i_{C1} = -i_{L2} \quad (2.25)$$

$$i_{C2} = -I_o \quad (2.26)$$



Gambar 2.8 Rangkaian ekivalen sakelar tertutup *quadratic boost converter* (Kumar dkk, 2016)

Pada mode kedua, ketika sakelar terbuka,  $D2$  akan dalam keadaan bias mundur sedangkan  $D1$  dan  $D3$  dalam keadaan bias maju. Pada kondisi ini, arus pada  $L_1$  dan  $L_2$  akan berkurang. Penurunan arus induktor pada mode kedua direpresentasikan oleh persamaan 2.27 dan persamaan 2.28 (Tattiwong dan Bunlaksananusorn, 2014).

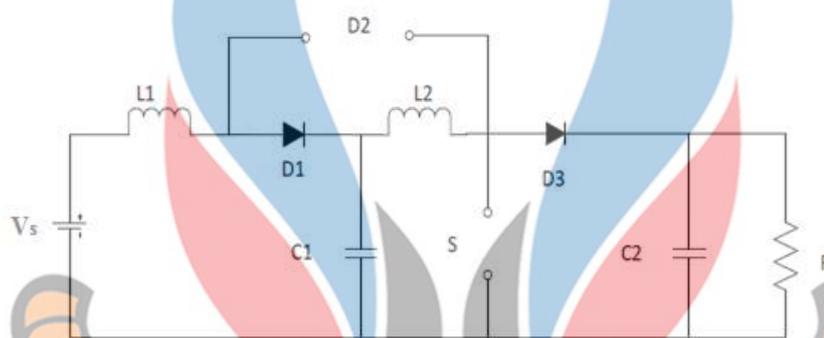
$$\Delta i_{L1(\text{open})} = \frac{(V_s - V_{C1})(1-D)T}{L_1} \quad (2.27)$$

$$\Delta i_{L2(\text{open})} = \frac{(V_{C1} - V_o)(1-D)T}{L_2} \quad (2.28)$$

T adalah periode penyakelaran dan D adalah lebar pulsa. Sementara itu, arus kapasitor direpresentasikan oleh persamaan 2.29 untuk kapasitor 1 dan persamaan 2.30 untuk kapasitor 2 (Tattiwong dan Bunlaksananusorn, 2014).

$$i_{C1} = i_{L1} - i_{L2} \quad (2.29)$$

$$i_{C2} = i_{L2} - I_o \quad (2.30)$$

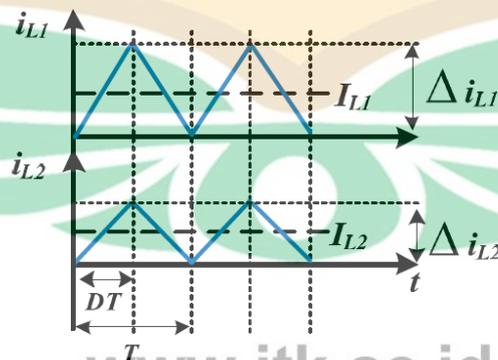


Gambar 2.9 Rangkaian ekivalen sakelar terbuka *quadratic boost converter* (Kumar dkk, 2016)

Untuk keadaan *steady state*, perubahan arus induktor harus bernilai nol. Perubahan tersebut dijelaskan oleh persamaan 2.31 untuk induktor 1 dan 2.32 untuk induktor 2 (Tattiwong dan Bunlaksananusorn, 2014).

$$\Delta i_{L1(\text{closed})} + \Delta i_{L1(\text{open})} = 0 \quad (2.31)$$

$$\Delta i_{L2(\text{closed})} + \Delta i_{L2(\text{open})} = 0 \quad (2.32)$$



Gambar 2.10 Bentuk gelombang arus induktor (Tattiwong dan Bunlaksananusorn, 2014)

Gambar 2.10 menjelaskan keadaan arus listrik pada induktor dengan sumbu vertikal sebagai arus pada induktor 1 dan arus pada induktor 2 sementara sumbu horizontal sebagai waktu.  $T$  adalah satu siklus penyakelaran dan  $DT$  adalah periode ketika sakelar aktif. Garis biru menandakan perubahan arus pada induktor yang jarak antara nilai tertinggi dan terendah disimbolkan dengan  $\Delta i_L$ . Garis putus-putus di antara nilai maksimum dan minimum perubahan arus induktor adalah arus rata-rata yang mengalir pada induktor (Tattiwong dan Bunlaksananusorn, 2014).

Dengan mensubstitusi persamaan 2.23 dan 2.27 ke persamaan 2.31 serta substitusi persamaan 2.24 dan 2.28 ke persamaan 2.32 dapat diperoleh persamaan hubungan tegangan kapasitor 1 pada persamaan 2.33, kapasitor 2 pada persamaan 2.34 dan tegangan keluaran oleh persamaan 2.35 (Tattiwong dan Bunlaksananusorn, 2014).

$$V_{C1} = \frac{V_s}{1-D} \quad (2.33)$$

$$V_{C2} = V_o = \frac{V_{C1}}{1-D} \quad (2.34)$$

$$V_o = \frac{V_s}{(1-D)^2} \quad (2.35)$$

Dalam operasi *steady state*, jumlah perubahan arus induktor harus bernilai nol. Perubahan arus induktor tersebut dijelaskan oleh persamaan 2.36 untuk induktor 1 dan persamaan 2.37 untuk induktor 2. Dari persamaan 2.36 dan 2.37 dapat diperoleh hubungan antara arus induktor, arus keluaran dan *duty cycle* pada persamaan 2.38 dan 2.39. Gambar 2.10 menunjukkan batas *ripple* arus induktor. Batas bawah *ripple* arus tersebut dijelaskan oleh persamaan 2.40 dan 2.41. (Tattiwong dan Bunlaksananusorn, 2014).

$$0 = -I_{L2}DT + (I_{L1} - I_{L2})(1-D)T = 0 \quad (2.36)$$

$$0 = -I_oDT + (I_{L2} - I_o)(1-D)T = 0 \quad (2.37)$$

$$I_{L1} = \frac{I_o}{(1-D)^2} \quad (2.38)$$

$$I_{L2} = \frac{I_o}{1-D} \quad (2.39)$$

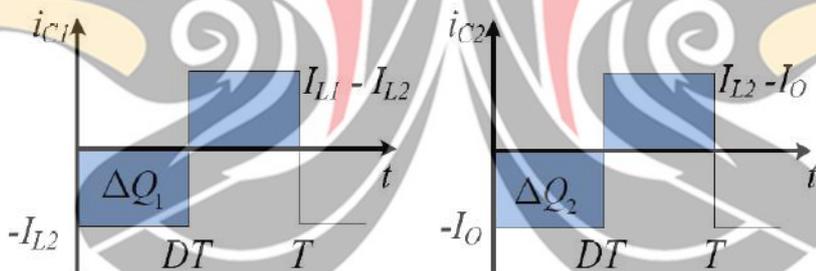
$$i_{L1(\min)} = I_{L1} - \frac{\Delta i_{L1}}{2} = 0 \quad (2.40)$$

$$i_{L2(\min)} = I_{L2} - \frac{\Delta i_{L2}}{2} = 0 \quad (2.41)$$

Dengan mensubstitusi persamaan 2.23 dan 2.38 ke persamaan 2.40 serta persamaan 2.24 dan 2.39 ke persamaan 2.41 dapat diperoleh nilai induktor minimal yang diperlukan. Nilai tersebut dijelaskan pada persamaan 2.42 dan persamaan 2.43 (Tattiwong dan Bunlaksananusorn, 2014).

$$L_1 = \frac{V_s D(1-D)^2}{2I_o f} \quad (2.42)$$

$$L_2 = \frac{V_s D}{2I_o f} \quad (2.43)$$



Gambar 2.11 Bentuk gelombang arus kapasitor (Tattiwong dan Bunlaksananusorn, 2014)

Gambar 2.11 menjelaskan keadaan arus listrik pada kapasitor dengan sumbu vertikal sebagai arus pada kapasitor dan sumbu horizontal sebagai waktu.  $T$  adalah satu siklus penyakelaran dan  $DT$  adalah periode ketika sakelar aktif.  $\Delta Q$  adalah perubahan jumlah muatan,  $I_{L1}$  adalah arus pada induktor 1,  $I_{L2}$  adalah arus pada induktor 2 dan  $I_o$  adalah arus pada sisi keluaran (Tattiwong dan Bunlaksananusorn, 2014).

Dalam proses *discharge* kapasitor, energi kapasitor  $C_1$  berkurang untuk menyuplai arus  $i_{L2}$  dan  $C_2$  untuk menyuplai  $I_o$ . Riak tegangan adalah perubahan

nilai tegangan dalam kapasitor dari maksimum sampai minimum (Tattiwong dan Bunlaksananusorn, 2014).

$$\Delta Q_1 = C_1 \Delta v_{C1} = I_{L2} DT \quad (2.44)$$

$$\Delta Q_2 = C_2 \Delta v_{C2} = I_o DT \quad (2.45)$$

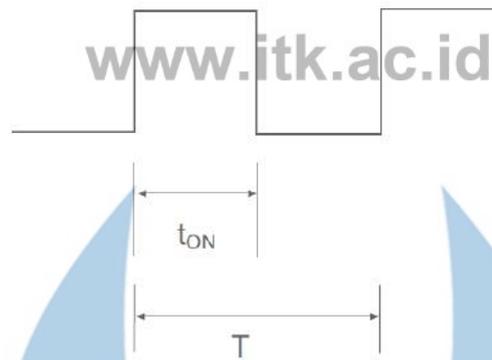
$$C_1 = \frac{I_o D}{(1-D) \Delta v_{C1} f} \quad (2.46)$$

$$C_2 = \frac{I_o D}{\Delta v_{C2} f} \quad (2.47)$$

Pada subbab 2.4 terdapat 25 persamaan dengan simbol yang serupa.  $V_s$  dan  $V_o$  masing-masing merepresentasikan tegangan pada sisi masukan dan tegangan sisi keluaran.  $R$ ,  $L$  dan  $C$  adalah komponen dengan masing-masing menunjukkan resistansi resistor, induktansi induktor dan kapasitansi kapasitor. Pada rangkaian *quadratic boost converter* sendiri terdapat 2 buah induktor yang disimbolkan dengan  $L_1$  dan  $L_2$  serta 2 buah kapasitor yang disimbolkan dengan  $C_1$  dan  $C_2$ .  $T$  dapat dijelaskan sebagai periode dan  $f$  dapat dijelaskan sebagai frekuensi.  $T$  biasanya selalu diikuti  $D$  yang merepresentasikan duty cycle. Terdapat pula simbol  $d$  atau  $\Delta$  yang merepresentasikan perubahan ketika switch aktif dan nonaktif.  $\Delta v_{C1}$  dan  $\Delta v_{C2}$  dapat dijelaskan sebagai ripple pada kapasitor 1 dan kapasitor 2, yang mana artinya perubahan tegangan kapasitor ketika switch aktif dan nonaktif.  $i_{L1}$  dan  $i_{L2}$  dijelaskan sebagai arus yang mengalir pada induktor 1 dan induktor 2 serta  $t$  merepresentasikan waktu. Ada pula simbol tambahan yakni  $Q$  yang merepresntasikan muatan listrik (Tattiwong dan Bunlaksananusorn, 2014).

## 2.5 *Pulse Width Modulation (PWM)*

*Pulse Width Modulation (PWM)* merupakan sinyal dengan periode aktif dan nonaktif. Periode aktif biasanya disebut dengan istilah *duty cycle*. *Duty cycle* adalah periode sakelar aktif terhadap satu siklus penyaklaran. *Duty cycle* dapat divariasikan antara 0 sampai dengan 1. Frekuensi dan pengaturan *duty cycle* digunakan dalam proses penyaklaran untuk mengatur tegangan keluaran dari *DC/DC converter* (Vodovoz dan Jansikene).

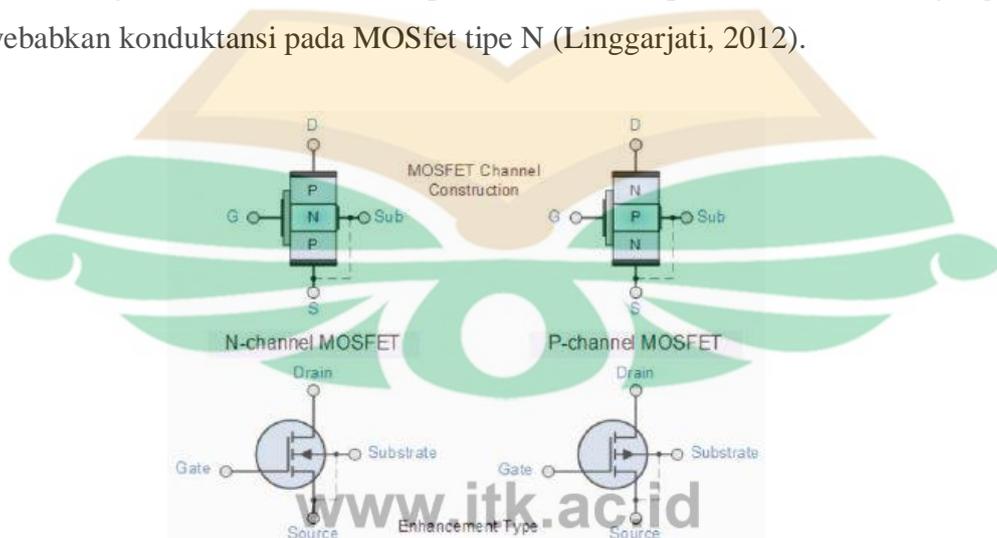


Gambar 2.12 *Duty cycle* pada PWM (Roberts, 2015)

Gambar 2.12 menunjukkan sinyal pulsa yang dimodulasi.  $T$  adalah waktu untuk satu siklus penyakelaran.  $T_{on}$  sendiri adalah waktu ketika sakelar aktif atau sering dikenal dengan istilah *duty cycle*. Dari sinyal berbentuk kotak tersebut terlihat bahwa ketika  $t_{on}$ , sinyal berada pada kondisi puncak dan ada pula sinyal pada kondisi lembah yang dapat dikatakan sebagai keadaan ketika sakelar *off* (Roberts, 2015).

## 2.6 MOSFET

MOSFET adalah suatu perangkat elektronik yang berfungsi sebagai alat penyakelaran. MOSFET sendiri merupakan singkatan dari *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*. Berdasarkan penyebab konduktansinya, MOSFET dibedakan menjadi dua jenis, yaitu MOSFET tipe P dan MOSFET tipe N. *Hole* menyebabkan konduktansi pada MOSFET tipe P dan elektron yang menyebabkan konduktansi pada MOSfet tipe N (Linggarjati, 2012).

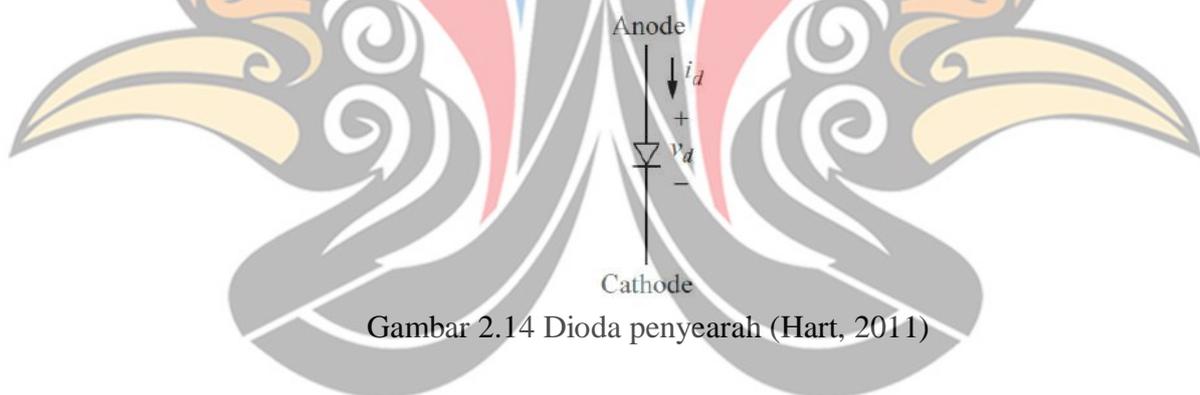


Gambar 2.13 MOSFET tipe P dan tipe N (Linggarjati, 2012)

Pada gambar 2.13, MOSFET tipe N berada di sebelah kiri dan MOSFET tipe P berada di sebelah kanan. Substrat pada MOSFET tipe N berupa semikonduktor tipe N yang diapit oleh dua buah semikonduktor tipe P. Sedangkan substrat pada MOSFET tipe P berupa semikonduktor tipe P yang diapit oleh dua buah semikonduktor tipe N. Untuk posisi *gate*, *drain* dan *source* tidak ada perbedaan antara kedua jenis MOSFET (Linggarjati, 2012).

## 2.7 Dioda

Dioda adalah sakelar elektronik yang paling sederhana, yang mana kondisi *on* dan *off* ditentukan oleh tegangan dan arus pada rangkaian. Dioda akan dalam keadaan bias maju jika arus  $i_d$  bernilai positif dan akan dalam keadaan bias mundur jika terjadi kondisi sebaliknya. Singkatnya, bias maju merepresentasikan kondisi *short circuit* dan bias mundur merepresentasikan *open circuit*. Dioda memiliki tegangan *barrier* di antara sisi P dan sisi N (Hart, 2011).



Gambar 2.14 Dioda penyearah (Hart, 2011)

*Anode* merepresentasikan sisi positif dan *cathode* merepresentasikan sisi negatif.  $V_d$  dapat dijelaskan sebagai tegangan pada dioda dengan sisi positif pada anode. Arah panah  $i_d$  menunjukkan bahwa arah arus mengalir dari *anode* ke *cathode* dan tidak pada kondisi sebaliknya. Hal itulah yang mendasari mengapa dioda digunakan sebagai penyearah karena hanya membolehkan arus listrik mengalir dalam satu arah (Hart, 2011)

## 2.8 Arduino Uno

Arduino Uno adalah sebuah *board* mikrokontroler dengan dasar Atmega328. Arduino Uno dapat dinyalakan via koneksi USB atau dengan sumber

energi external. *Board* yang bisa disuplai dengan tegangan berkisar antara 6 sampai 20 Volt ini memiliki 14 dengan 6 buah pin yang memungkinkan untuk *output* PWM (Arduino). Spesifikasi Arduino Uno ditunjukkan pada tabel 2.1.



Gambar 2.15 Arduino Uno

Tabel 2.1 Spesifikasi Arduino Uno

Mikrokontroler	ATMega328
Tegangan Operasi	5 V
Tegangan Masukan (disarankan)	7-12 V
Tegangan (batas)	6-20 V
Pin I/O Digital	14 (6 output PWM)
Pin <i>input</i> analog	6
Arus DC per I/O pin	40 mA
Arus DC untuk pin 3,3V	50 mA
<i>Flash Memory</i>	32 KB
<i>Clock Speed</i>	16 MHz

Arduino Uno memiliki pin-pin daya yang dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. *Board* mampu beroperasi dengan tegangan masukan eksternal berkisar 6-20 Volt.. Jika menggunakan tegangan di atas 12 Volt, regulator kan panas dan dapat merusak *board*. Jadi, tegangan yang disarankan berkisar antara 7 sampai 12 Volt.
2. Arus maksimum untuk suplai 3,3 Volt pada pin 3,3 V adalah sebesar 50 mA

3. GND sebagai pin *ground*.

[www.itk.ac.id](http://www.itk.ac.id)

## 2.9 Posisi Penelitian

Gambaran posisi penelitian ditunjukkan pada tabel 2.2.



[www.itk.ac.id](http://www.itk.ac.id)

No	Nama Penulis dan Tahun Publikasi	Metode	Objek Penelitian	Plant/Sistem	Hasil
1	Kumar dkk, 2016	Simulasi	Pengaruh jenis sistem terhadap efisiensi daya	<i>Boost converter</i> dan <i>quadratic boost converter</i>	Untuk <i>boost converter</i> dengan tegangan masukan 10V dan <i>duty ratio</i> 0,2, 0,5, 0,7 masing-masing menghasilkan efisiensi 45%, 48%, 62%. Untuk <i>quadratic boost converter</i> dengan tegangan masukan 10V dan <i>duty ratio</i> 0,2, 0,5, 0,7 masing-masing menghasilkan efisiensi 61%, 67%, dan 74%.
2	Boujelben dkk, 2017	Simulasi	Pengaruh jenis sistem terhadap efisiensi daya	<i>Boost converter</i> , <i>double cascade boost converter</i> dan <i>quadratic boost converter</i>	Efisiensi nominal <i>boost converter</i> sebesar 85,32%, efisiensi nominal <i>quadratic boost converter</i> sebesar 58,7% dan efisiensi nominal <i>double cascade boost converter</i> sebesar 94,54%
3	Yusril, 2020	Simulasi dan alat	Pengaruh jenis sistem terhadap tegangan keluaran dan efisiensi daya	<i>Boost converter</i> dan <i>quadratic boost converter</i>	–

