

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian yang membahas tentang *multilevel boost converter* yang menjadi bahan penyusunan proposal penelitian ini adalah sebagai berikut:

Susetyo [3] meneliti *Solar Water Pumping System* yang menggunakan kontrol *MPPT P&O* untuk menentukan daya maksimum dari *photovoltaic (PV)*. Sistem ini menggunakan *boost converter* empat tingkat untuk meningkatkan tegangan keluaran *PV* dari 150 Volt menjadi 600 Volt dengan *duty cycle* sebesar 25%.

Fanani dkk [4] meneliti tentang desain dan simulasi konverter boost dengan dua induktor yang dilengkapi dengan transformator tambahan dan konverter *boost multilevel* menggunakan kapasitor yang di-*cascade* tiga tingkat. Kemudian dilakukan simulasi dengan menggunakan beban berupa motor DC untuk dilihat apakah *multilevel boost converter* cocok untuk digunakan sebagai catu daya motor DC.

Soedjarwanto dkk [5] melakukan perbandingan antara *multilevel boost converter* tiga tingkat dengan *boost converter* konvensional dalam melakukan catu daya terhadap motor arus searah. Dilakukan juga pengujian *multilevel boost converter* dengan mesin arus searah yang bebannya divariasikan.

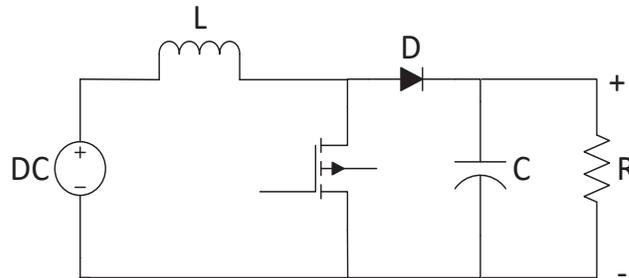
Arsanto dkk [6] meneliti efisiensi *multilevel boost converter* tiga tingkat dengan tegangan masukan dari sel surya. Metode pengujian yang dilakukan adalah dengan memvariasikan beban resistif, yaitu 100 Ω , 200 Ω , dan 300 Ω dengan *duty cycle* tetap 20%. Hasil yang didapat adalah efisiensi tertinggi didapat dengan beban resistif tertinggi yaitu 90,60% pada beban 300 Ω .

2.2 Boost Converter

Boost converter adalah rangkaian konverter DC-DC yang berfungsi untuk mengubah tegangan DC menjadi tegangan DC yang lebih tinggi. Konverter ini menggunakan saklar, induktor, dan kapasitor. Dengan bekerja secara periodik saat saklar on dan off, prinsip kerja *boost converter* dibagi menjadi dua mode, yaitu

mode pengisian (*charging*) arus induktor saat saklar dalam keadaan *on*, dan mode pelepasan (*discharging*) arus induktor saat saklar dalam keadaan *off* [2].

Rangkaian *boost converter* konvensional diperlihatkan pada gambar 2.1:



Gambar 2.1 Rangkaian *boost converter* konvensional

Saat saklar atau *switch* MOSFET *on*, maka arus dari V_{DC} akan melalui induktor dan kembali ke sumber V_{DC} . Ini menyebabkan energi akan tersimpan di induktor. Ketika saklar atau *switch* MOSFET *off*, maka arus dari induktor akan mengalir menuju beban melalui dioda dan *charging* kapasitor. Saat saklar atau *switch* MOSFET kembali *on*, maka arus V_{DC} akan kembali mengisi energi di induktor, dan energi yang sebelumnya tersimpan di kapasitor akan mengalir ke beban [7].

Untuk mengetahui besar nilai tegangan keluaran dari *boost converter* konvensional berdasarkan pengaruh perubahan *duty cycle* dapat dihitung sebagai berikut:

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{1 - D} \quad (2.1)$$

V_{out} = Tegangan keluaran (V)

V_{in} = Tegangan masukan (V)

D = *Duty cycle*

Dimana *duty cycle* adalah perbandingan waktu *on* dan *off* dari saklar:

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

t_{on} = lama saklar dalam keadaan *on* (s)

t_{off} = lama saklar dalam keadaan *off* (s)

Dengan mengatur ulang persamaan (2.1), besar *duty cycle* juga dapat ditentukan sebagai berikut:

$$D = 1 - \frac{V_{in}}{V_{out}}$$

$$D = \frac{V_{out} - V_{in}}{V_{out}} \quad (2.3)$$

Besaran komponen yang digunakan untuk *boost converter* juga harus diperhatikan. Pemilihan induktor dan kapasitor yang tepat diperlukan untuk meminimalisir riak yang akan terjadi. Untuk pemilihan besar induktansi induktor, dapat dihitung dengan persamaan berikut [8]:

$$L = \frac{V_{in} \times (V_{out} - V_{in})}{\Delta I \times f \times V_{out}} \quad (2.4)$$

L = induktansi yang diperlukan (H)

ΔI = perkiraan riak arus (A)

f = frekuensi pensaklaran (Hz)

Dengan memasukkan persamaan (2.3), maka persamaan (2.4) akan menjadi sebagai berikut[8]:

$$L = \frac{V_{in} \times D}{\Delta I \times f} \quad (2.5)$$

Sedangkan untuk kapasitor yang digunakan, besar kapasitansi yang diperlukan dapat dihitung dengan persamaan berikut [8]:

$$C = \frac{I_{out} \cdot D}{f \cdot \Delta V_{out}} \quad (2.6)$$

C = kapasitansi yang diperlukan (F)

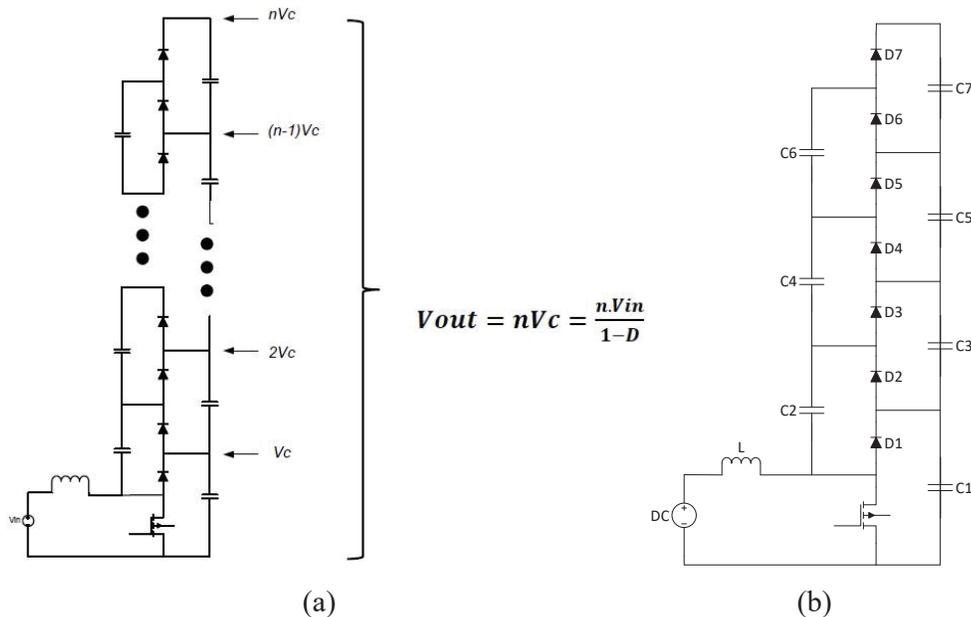
I_{out} = besar arus keluaran (A)

ΔV_{out} = perkiraan riak tegangan keluaran (V)

2.3 Multilevel Boost Converter

Multilevel boost converter adalah sebuah konverter DC - DC berbasis PWM yang mengkombinasikan *boost converter* konvensional dengan fungsi *switched*

capacitor untuk menghasilkan tegangan output yang berbeda dan stabil [4]. Rangkaian dari *multilevel boost converter* yang digunakan diperlihatkan pada gambar 2.2:



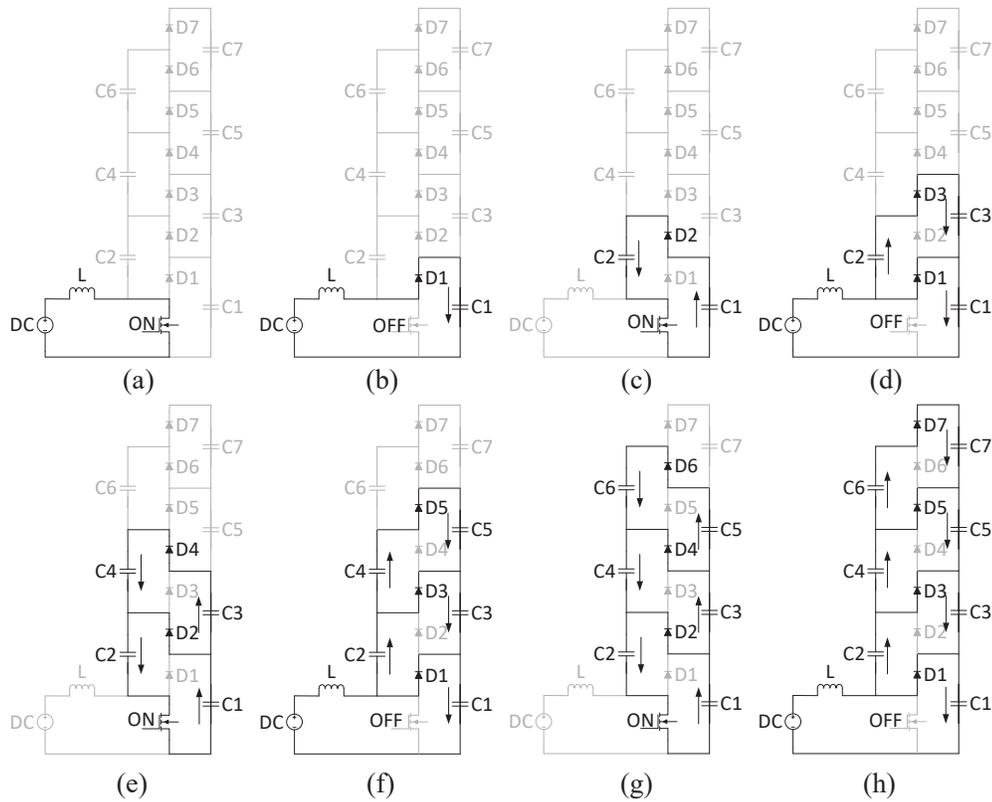
Gambar 2.2 (a) Rangkaian *multilevel boost converter* (b) *Multilevel boost converter* 4 tingkat

Topologi ini adalah $N \times$ DC-DC *converter* dimana menggunakan 1 saklar, $2N-1$ dioda, dan $2N-1$ kapasitor. N yang dimaksud disini adalah jumlah dari tingkatan (level) dari *multilevel boost converter*. Satu kelebihan dari rangkaian ini yaitu jumlah dari tingkatan (level) dapat ditingkatkan dengan menambah kapasitor dan diode tanpa memodifikasi/mengubah rangkaian utama [3]. Kelebihan lain dari rangkaian ini adalah:

- arus inputnya kontinyu
- ratio konversinya besar walaupun tanpa menggunakan *duty cycle* yang besar dan tanpa menggunakan transformator tambahan
- dapat menggunakan frekuensi *switching* yang tinggi.

Seperti halnya *boost converter* konvensional, prinsip kerja *boost converter* empat tingkat dibagi menjadi dua mode yaitu mode pengisian (*charging*) arus induktor dan mode pelepasan (*discharging*) arus induktor. Mode pengisian terjadi ketika MOSFET berada pada kondisi on, dan mode pelepasan terjadi ketika

MOSFET berada dalam kondisi off. Gambar 2.3 menunjukkan prinsip kerja dari *multilevel boost converter* empat tingkat dengan mode pengisian dan pelepasannya.



Gambar 2.3 Prinsip kerja *multilevel boost converter* empat tingkat

Pada gambar 2.3(a), MOSFET berada pada kondisi *on* sehingga akan melakukan pengisian pada induktor. Ketika MOSFET berubah menjadi *off* pada gambar 2.3(b), sumber tegangan dan tegangan dari induktor akan mengisi kapasitor C_1 melalui dioda D_1 . Pada gambar 2.3(c), jika tegangan pada kapasitor C_2 lebih kecil daripada tegangan kapasitor C_1 , maka kapasitor C_1 akan melakukan pengisian ke kapasitor C_2 melalui dioda D_2 dan MOSFET yang berada pada kondisi *on*, hingga tegangan keduanya sama. Ketika MOSFET kembali ke kondisi *off* pada gambar 2.3(d), sumber tegangan, tegangan induktor dan tegangan kapasitor C_2 akan mengisi kapasitor C_1 dan C_3 melalui dioda D_1 dan D_3 .

Proses pengisian dan pelepasan ini akan berlangsung dengan proses yang sama, sebanyak jumlah tingkatan yang ada pada *multilevel boost converter* yang

digunakan. Untuk itu, tegangan kapasitor pada rangkaian dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$V_{C1} = V_{C2} = V_C = \frac{1}{N} \cdot V_i \quad (2.7)$$

Tegangan induktor pada keadaan *switch on* dirumuskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_i &= V_L \\ V_i &= L \cdot \frac{dI_{on}}{t_{on}} \\ dI_{on} &= V_i \cdot \frac{t_{on}}{L} \end{aligned} \quad (2.8)$$

Tegangan induktor pada keadaan *switch off* dirumuskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} 0 &= V_i + V_L + V_C \\ -V_i &= V_L + V_C \\ -V_i &= L \cdot \frac{dI_{off}}{t_{off}} + V_o \frac{1}{N} \\ V_o \frac{1}{N} - V_i &= L \cdot \frac{dI_{off}}{t_{off}} \\ dI_{off} &= \frac{(V_o \frac{1}{N} - V_i) t_{off}}{L} \end{aligned} \quad (2.9)$$

Saat keadaan *steady state*, nilai $dI_{on} = dI_{off}$, jadi persamaan (2.8) dapat disubstitusikan pada persamaan (2.9) menjadi:

$$\begin{aligned} V_i \cdot \frac{t_{on}}{L} &= \frac{(V_o \frac{1}{N} - V_i) t_{off}}{L} \\ V_i \cdot D &= (V_o \frac{1}{N} - V_i) (1 - D) \\ V_o &= V_i \frac{N}{(1-D)} \end{aligned} \quad (2.10)$$

V_o = Tegangan keluaran (V)

V_i = Tegangan masukan (V)

N = Jumlah tingkatan *multilevel boost converter*

D = *Duty cycle*

Besaran kapasitor yang digunakan untuk *multilevel boost converter* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang sama dengan yang digunakan untuk menghitung besaran kapasitor *boost converter* konvensional. Sedangkan

untuk besaran induktansi yang diperlukan, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [4]:

$$L_{min} = \frac{R_{out} \times (1-D)^2}{2 \times N^2} \times D \times T \quad (2.11)$$

$$L = 10 \times L_{min} \quad (2.12)$$

L_{min} = Induktansi minimum yang diperlukan (H)

R_{out} = Resistansi *output* (Ω)

N = Jumlah tingkatan *multilevel boost converter*

D = *Duty cycle*

T = Periode (s)

L = induktansi yang diperlukan (H)

2.4 Baterai

Baterai merupakan suatu perangkat yang mengandung sel listrik sehingga dapat digunakan untuk menyimpan energi dimana energi tersebut dapat dikonversikan menjadi daya. Didalam sel listrik yang terdapat pada baterai berlangsung proses elektrokimia yang bersifat *reversibel* (dapat berkebalikan) dengan efisiensi yang tinggi [2].

Baterai dapat dikategorikan menjadi dua jenis, yaitu:

1. Baterai primer, yaitu baterai yang hanya bisa digunakan sekali saja. Ketika energi di baterai primer habis, maka baterai tersebut sudah tidak dapat digunakan kembali. Jenis-jenis baterai yang tergolong dalam kategori ini diantaranya adalah baterai zinc carbon, baterai alkaline, baterai lithium, dan baterai silver oxide.
2. Baterai sekunder, yaitu baterai yang dapat diisi ulang. Berbeda dari baterai primer, baterai sekunder dapat mengisi kembali energinya dengan menghubungkannya dengan sumber energi dari luar, sehingga baterai tersebut dapat digunakan kembali. Jenis-jenis baterai yang tergolong dalam kategori ini diantaranya adalah baterai NiCd (Nickel Cadmium), baterai NiMH (Nickel Metal Hydride) dan baterai Li-ion (Lithium ion).

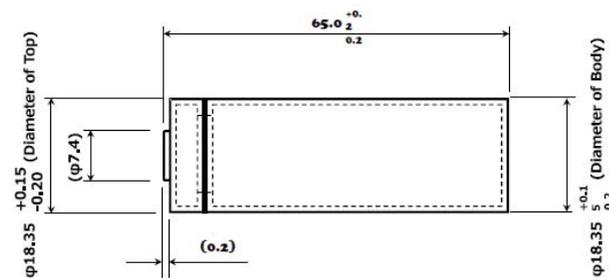
Karena tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang *boost converter* sebagai alat pengisi baterai, maka baterai yang akan digunakan adalah baterai

sekunder. Baterai dinilai sesuai dengan beberapa kriteria seperti: biaya, *self-discharge* (tingkat dimana baterai secara alami kehilangan energi sementara tanpa digunakan), *energy density* (energi baterai dapat menyimpan, dibagi dengan volume), *specific energy* (energi baterai dapat menyimpan, dibagi dengan berat), dan *cycle life* (jumlah pengisian baterai dapat diisi ulang sebelum pemakaian habis). Setiap baterai memiliki kelebihan dan kekurangan tersendiri sehubungan dengan kriteria tersebut. Tabel 2.1 memberikan gambaran singkat mengenai karakteristik berbagai baterai yang sering digunakan dalam produk konsumen [9].

Tabel 2.1 Karakteristik macam-macam baterai kimia

<i>Criteria</i>	<i>Lead Acid</i>	<i>NiCd</i>	<i>NiMH</i>	<i>Li-ion</i>
<i>Self Discharge Rate</i>	<i>Very low</i>	<i>High</i>	<i>High</i>	<i>Moderate</i>
<i>Overcharge Tolerance</i>	<i>High</i>	<i>Moderate</i>	<i>Low</i>	<i>Very low</i>
<i>Specific Energy (Whper kg)</i>	25 - 35	35 - 65	40 - 100	110 - 190
<i>Charging Temperature (°C)</i>	0 - 25	0 - 45	0 - 45	0 - 45
<i>Cycle Life (up to 80% of initial capacity)</i>	200 - 300	1000 - 1500	750 - 1000	500 - 1000
<i>Cost per unit Energy (\$/Wh)</i>	\$0.22 - \$1.00	\$0.80 - \$2.00	\$0.40 - \$2.00	\$0.60 - \$2.50
<i>Voltage per cell (Volts)</i>	2	1,2	1,25	3,6

Untuk penelitian yang dilakukan, maka dipilihlah baterai dengan bahan lithium ion. Baterai yang digunakan adalah baterai SONY US18650VTC6 yang ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Data baterai SONY US18650VTC6 [10]

Performa dari baterai SONY US18650VTC6 yang akan dipakai ditunjukkan pada tabel 2.2. Data ini akan menjadi tolak ukur perancangan *boost converter* yang akan dirancang.

Tabel 2.2 Data peforma baterai SONY US18650VTC6 [10]

Kapasitas Nominal (0,2C)	3130mAh, 11,3Wh	discharge 2,0V, cut off pada 23°C
Rated Capacity (0,2C)	3000mAh, 10,8Wh	discharge 2,0V, cut off pada 23°C
Tegangan Nominal	3,6 V	
Impedansi Internal	12,8 mΩ Typ.	diukur dengan AC1kHz
Cycle Performance	60% dari kapasitas inisial pada 500 siklus	
Metode charging	tegangan dan arus konstan	
Tegangan Charging	4,2 ± 0,05 V	
Arus Charging	3,0 A	
Waktu Charging	2,5 Jam	
Suhu ambient	23 °C	

Baterai SONY US18650VTC6 adalah baterai Lithium Ion Rechargeable dengan kapasitas nominal 3130 mAh dan tegangan nominal 3,6 V. Untuk melakukan pengisian dayanya, diperlukan arus dan tegangan konstan 3,0 A dan $4,2 \pm 0,05$ V. Dalam penggunaannya pada mobil listrik sendiri, baterai ini digunakan dengan disusun sebanyak 13 seri dan 6 paralel untuk meningkatkan kapasitas dan tegangan totalnya, sehingga diperlukan *boost converter* untuk melakukan pengisian ulang daya.

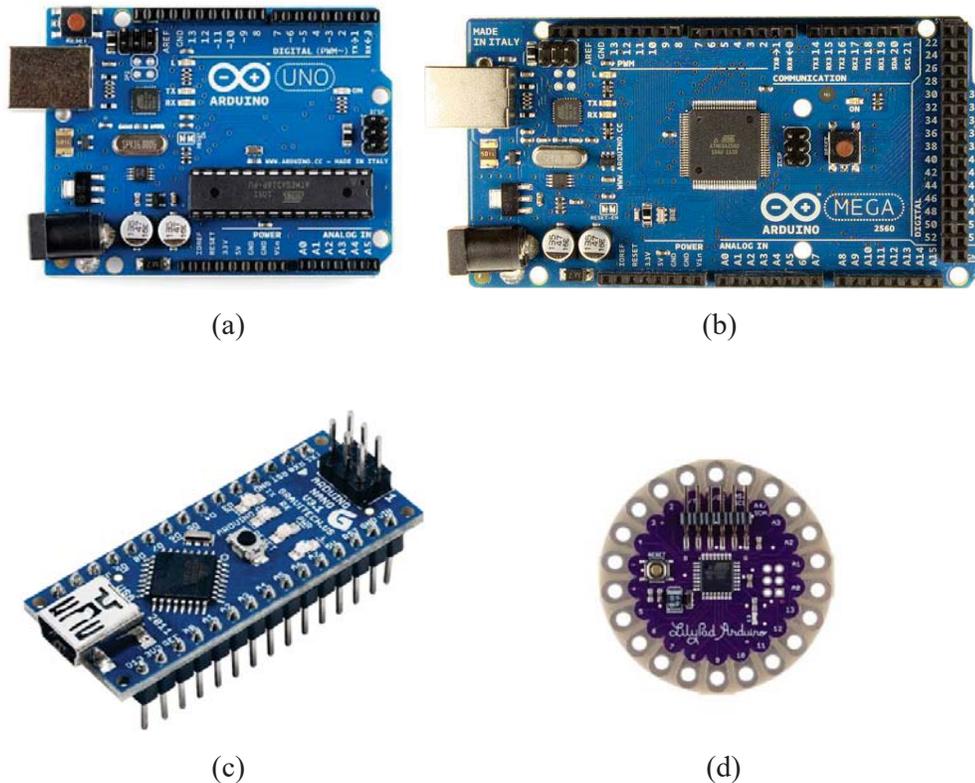
2.5 Rangkaian Kontrol

Mikrokontroler merupakan piranti yang berfungsi untuk mengendalikan rangkaian elektronik dan umumnya dapat menyimpan kode program di dalamnya. Secara teknis mikrokontroler dibagi menjadi 2 macam yaitu *Reduced Instruction Set Computer* (RISC) yang memiliki keterbatasan instruksi tetapi memiliki fasilitas yang banyak dan *Complex Instruction Set Computer* (CISC) yang memiliki instruksi lebih lengkap dibanding RISC tapi dengan fasilitas secukupnya [5].

Arduino dikatakan sebagai sebuah *platform* dari *physical computing* yang bersifat *open source*. Pertama-tama perlu dipahami bahwa kata “*platform*” di sini adalah sebuah pilihan kata yang tepat. Arduino tidak hanya sekedar sebuah alat pengembangan, tetapi ia adalah kombinasi dari perangkat keras, bahasa pemrograman dan *Integrated Development Environment (IDE)* yang canggih. *IDE* adalah sebuah perangkat lunak yang sangat berperan untuk menulis program, meng-*compile* menjadi kode biner dan mengunggah ke dalam memori mikrokontroler. Ada banyak proyek dan alat-alat dikembangkan oleh akademisi dan profesional dengan menggunakan Arduino, selain itu juga ada banyak modul-modul pendukung (sensor, tampilan, penggerak dan sebagainya) yang dibuat oleh pihak lain untuk bisa disambungkan dengan Arduino. Arduino berevolusi menjadi sebuah platform karena ia menjadi pilihan dan acuan bagi banyak praktisi [11].

Arduino memiliki banyak jenis sesuai dengan kebutuhan penggunaannya. Beberapa jenis Arduino yang sering dijumpai ditunjukkan pada gambar 2.5. Arduino yang umum digunakan adalah Arduino Uno. Terdapat juga Arduino Mega yang memiliki jumlah pin yang lebih banyak daripada Arduino Uno, Arduino Nano

yang memiliki ukuran yang lebih kecil, ataupun Arduino Lilypad yang berbentuk lingkaran.



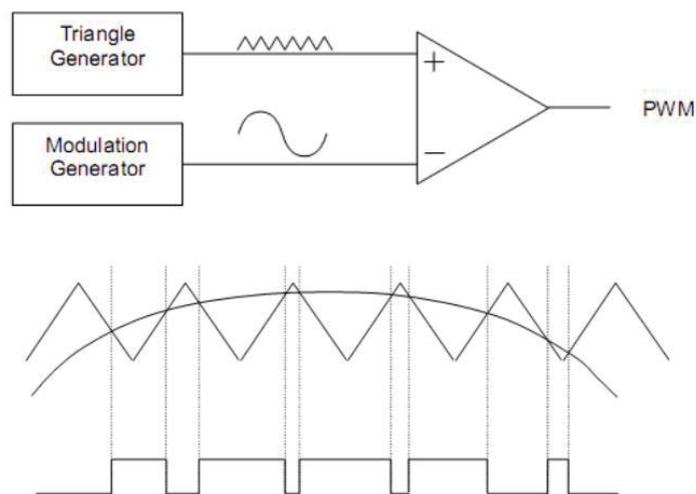
Gambar 2.5 Beberapa jenis papan Arduino (a) Arduino Uno, (b) Arduino Mega, (c) Arduino Nano, (d) Arduino Lilypad [11]

Komponen utama di dalam papan Arduino adalah sebuah microcontroller 8-bit dengan merk ATmega yang dibuat oleh perusahaan Atmel Corporation. Berbagai papan Arduino menggunakan tipe ATmega yang berbeda-beda tergantung dari spesifikasinya, sebagai contoh Arduino Uno menggunakan ATmega328 sedangkan Arduino Mega 2560 yang lebih canggih menggunakan ATmega2560.

Arduino nantinya akan digunakan sebagai komponen utama dalam rangkaian kontrol dari *boost converter* yang akan dirancang. Arduino akan berfungsi sebagai pembangkit sinyal PWM, pengatur *duty cycle*, pembaca sensor tegangan dan pembaca sensor arus. Pada penelitian ini, jenis Arduino yang akan digunakan adalah Arduino Nano.

2.6 Pulse Width Modulation

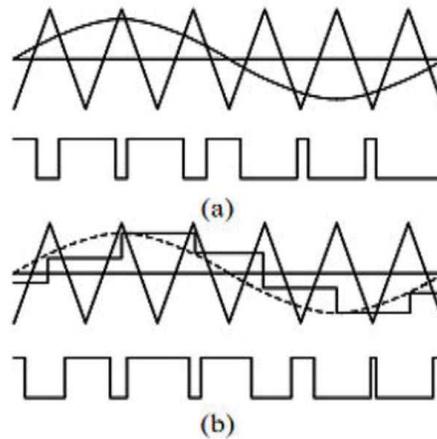
PWM adalah sebuah metode yang digunakan untuk mengatur jumlah daya (power) yang dialokasikan ke beban tanpa harus menimbulkan rugi-rugi daya pada rangkaian pengendali beban tersebut. Teknik PWM digunakan secara luas tidak saja dalam bidang pengendalian putaran motor tetapi juga pada bidang telekomunikasi, manajemen daya pada IC (*intergrated Circuit*) dan signal processing [12]. Prinsip dasar pembangkitan sinyal PWM pada umumnya dilakukan dengan membandingkan dua buah sinyal dengan frekuensi berbeda seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.6. Gambar 2.6 memperlihatkan perbandingan gelombang modulasi yang berupa gelombang sinus dengan gelombang carrier yang berupa sinyal segitiga. Hasil perbandingan kedua sinyal tersebut menghasilkan pulsa dengan lebar yang berbeda-beda.



Gambar 2.6 Prinsip dasar pembangkitan pulsa PWM [12]

Sinyal PWM dapat dikelompokkan menjadi dua jenis yakni sinyal PWM yang dihasilkan dengan metode natural sampling yang disebut sebagai natural sampling signal PWM (NPWM) dan yang kedua sinyal PWM yang dihasilkan dengan metode uniform sampling PWM (UPWM). Perbedaan kedua jenis PWM tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.7. Variasi lain dari teknik PWM adalah dari jenis gelombang modulasi dan gelombang carrier yang dipergunakan. Sinyal carrier bias berupa gelombang segitiga atau gelombang gigi gergaji sedangkan gelombang

modulasi bias berupa gelombang sinus atau gelombang sinus yang disuntik dengan harmonisa.

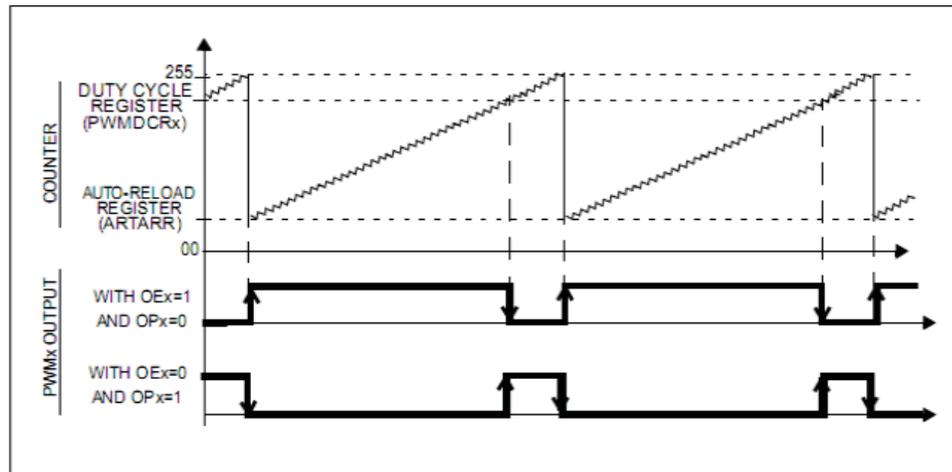


Gambar 2.7 (a) *Uniform sampling* PWM, dan (b) *Natural sampling* PWM
[13]

Teknik pembangkitan gelombang PWM lainnya adalah secara digital. Pembangkitan ini biasanya dilakukan menggunakan mikrokontroler dengan metode *time proportioning*. Metode ini memanfaatkan fitur *counter* yang terdapat pada mikrokontroler yang akan bertambah secara periodis yang terhubung langsung dengan *clock*/pendetak rangkaian mikrokontroler. *Counter* akan *ter-reset* pada akhir setiap periode dari PWM. Ketika nilai *counter* lebih dari nilai referensinya, keluaran PWM berubah dari kondisi *HIGH* ke *LOW* (atau sebaliknya sesuai dengan pengaturan). Pertambahan nilai dari *counter* mirip dengan metode gelombang gigi gergaji. Hanya saja penggunaan *counter* adalah versi diskret dari metode interseksi. Tingkat ketelitian pada PWM digital sangat dipengaruhi oleh resolusi *counter*. Semakin tinggi nilai resolusinya maka akan diperoleh hasil yang lebih baik [13].

Prinsip pembangkitan PWM dengan menggunakan MK diperlihatkan pada Gambar 2.8. Dari Gambar 2.8 dapat dilihat bahwa pulsa *duty cycle* PWM dibangkitkan melalui sebuah fungsi yang disebut PWM *auto-reload timer* dimana durasi *ON* dan *OFF* ditentukan dari perbandingan *duty-cycle register* dengan *auto-reload register* pada *counter*. Frekuensi sinyal PWM ditentukan oleh periode *counter*, nilai dari *auto-reload register* (ARR) dan jumlah bit dari mikrokontroler, seperti ditunjukkan pada persamaan (2.9).

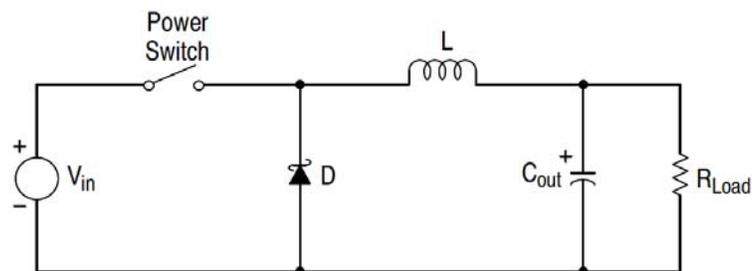
$$f_{PWM} = 1/256 - \text{nilai ARR} \quad (2.9)$$



Gambar 2.8 Pembangkitan PWM dengan *counter* mikrokontroler [13]

2.7 Buck Converter

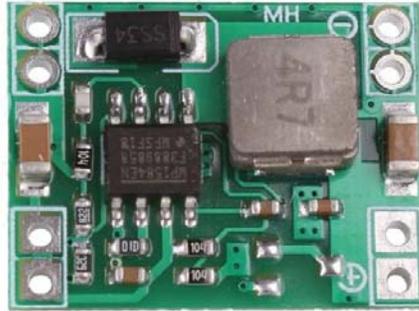
Buck converter adalah DC-DC *converter* jenis penurun tegangan atau step down. *Buck converter* mampu menghasilkan nilai tegangan keluaran sama atau lebih rendah dari tegangan masukannya. Rangkaian dari *buck converter* ditunjukkan pada gambar 2.9. *Buck converter* ini tersusun dari MOSFET (saklar aktif) dan dioda (saklar pasif). Saklar pasif dapat diganti dengan aktif pada saat tegangan kerja yang rendah, sehingga dapat mengurangi susut daya yang terjadi [14].



Gambar 2.9 Rangkaian *Buck Converter*

Buck converter yang akan digunakan adalah *buck converter* MP1584 yang ditunjukkan pada gambar 2.10. MP1584 adalah *buck converter* yang bisa menurunkan tegangan dari 3 hingga 40 volt menjadi 5 volt. *Buck converter*

diperlukan sebagai penurun tegangan untuk Arduino Nano yang akan digunakan. Arduino Nano memerlukan tegangan input sebesar 5 hingga 9 volt, dan sumber daya yang digunakan akan memberikan tegangan sebesar 12 volt. Untuk itu, tegangan dari sumber akan diturunkan menjadi 5 volt agar bisa digunakan.



Gambar 2.10 *Buck converter* MP1584

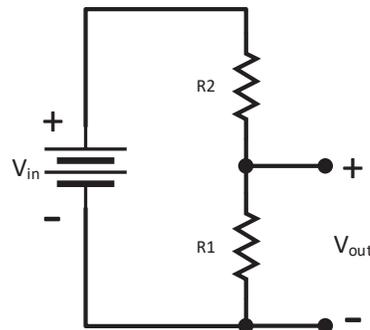
2.8 Sensor Tegangan

Untuk membaca tegangan, baik itu tegangan masukan maupun tegangan keluaran dibutuhkan sebuah alat tambahan. Cara yang biasa digunakan untuk membaca tegangan adalah dengan menggunakan voltmeter atau multimeter. Namun, jika tegangan dibaca menggunakan alat ukur tersebut, akan sulit untuk mendapatkan pembacaan yang tepat, terutama ketika tegangan terus berubah-ubah. Untuk itu diperlukan metode lain yang dapat membaca tegangan dengan lebih cepat dan akurat. Maka dari itu, digunakanlah Arduino sebagai sensor tegangan untuk membaca tegangan masukan ataupun tegangan keluaran tersebut.

Arduino dapat membaca tegangan dengan menghubungkan tegangan yang ingin dibaca ke pin analog Arduino tersebut. Arduino akan membaca tegangan dari 0 volt hingga 5 volt dengan mengubahnya menjadi satuan dengan skala 0 hingga 255. Masalah utama yang perlu diperhatikan disini adalah kecilnya batas tegangan yang bisa dibaca oleh Arduino, yaitu hanya sebesar 5 volt. Oleh karena itu, untuk membaca tegangan yang diperkirakan melebihi 5 volt, perlu digunakan rangkaian pembagi tegangan.

Rangkaian pembagi tegangan adalah suatu rangkaian sederhana yang mengubah tegangan besar menjadi tegangan yang lebih kecil. Rangkaian pembagi

tegangan ini ditunjukkan seperti pada gambar 2.11. Rangkaian ini terdiri dari dua resistor yang dirangkai secara seri dan dihubungkan dengan suatu sumber tegangan.



Gambar 2.11 Rangkaian pembagi tegangan

Pada gambar 2.11, V_{in} adalah tegangan asli yang ingin dibaca, R_1 dan R_2 adalah resistor dengan resistansi yang berbeda, dan V_{out} adalah tegangan yang akan dibaca oleh Arduino setelah diturunkan menjadi lebih kecil. Adapun besar V_{out} dapat dihitung dengan perhitungan seperti berikut:

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{V_{in}}{R_1 + R_2} \\
 V_{out} &= I \times R_1 \\
 V_{out} &= \frac{V_{in} \times R_1}{R_1 + R_2} \tag{2.13}
 \end{aligned}$$

V_{out} = Tegangan keluaran pembagi tegangan (V)

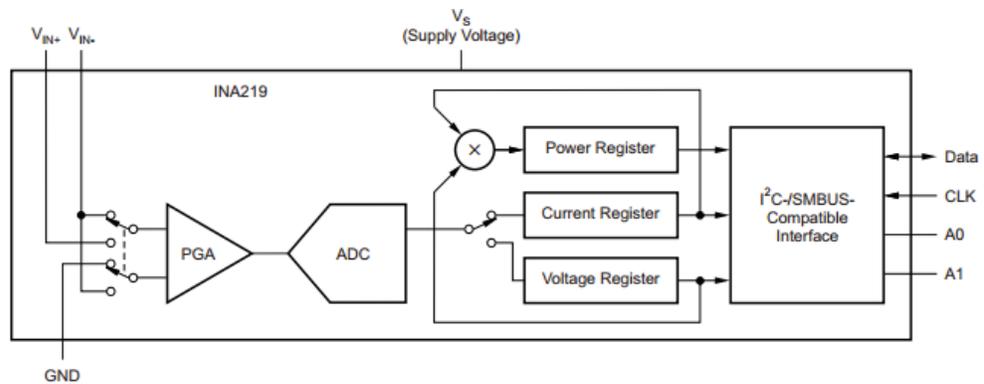
V_{in} = Tegangan masukan pembagi tegangan (V)

R_1, R_2 = Resistansi pembagi tegangan (Ω)

2.9 Sensor Arus

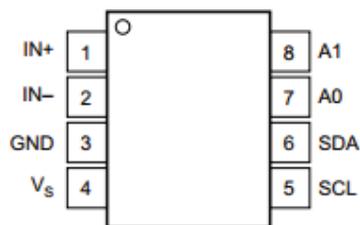
Untuk membaca besar arus yang mengalir pada rangkaian, digunakan sensor INA219. INA219 merupakan modul sensor yang dapat membaca tegangan dan arus pada suatu rangkaian listrik. INA219 didukung dengan *interface I2C* atau *SMBUS-COMPATIBLE* dimana peralatan ini mampu memonitor tegangan *shunt* dan suplai tegangan bus, dengan konversi program *times* dan *filtering*. INA219 memiliki sebuah *amplifier* dengan input maksimum lebih kurang 320 mV. Ini berarti INA219 dapat mengukur sampai dengan 3,2 A. INA219 mengidentifikasi

tegangan shunt pada bus dengan kisaran 0 – 26 V. Skematik sederhana dari INA219 ditunjukkan pada gambar 2.12 [15].



Gambar 2.12 Skematik INA219

Dalam gambar 2.12 skematik INA219 memiliki Pin I/O data, clock, analog 0, analog 1, Vin +, Vin -, ground, dan suplai tegangan. Berikut gambar 2.13 yang menjelaskan pin I/O dari INA219 [15].



Gambar 2.13 Sensor arus ACS712

Pin IN + dan IN – merupakan pin positif dan negatif input dari tegangan shunt dimana pin positif dihubungkan dengan hambatan shunt sedangkan yang negatif dihubungkan dengan ground. Pin SCL dan SDA adalah pin serial bus clock line dan serial bus data line. pin A0 dan A1 merupakan address dari pin analog input.

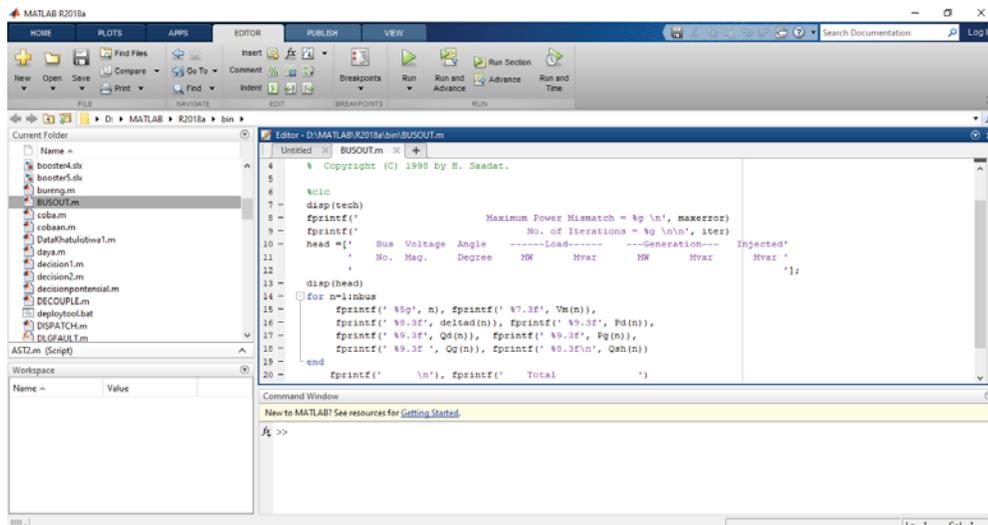
2.10 MATLAB

Matlab merupakan bahasa canggih untuk komputansi teknik. Matlab merupakan integrasi dari komputansi, visualisasi dan pemograman dalam suatu lingkungan yang mudah digunakan, karena permasalahan dan pemecahannya dinyatakan dalam notasi matematika biasa. Kegunaan Matlab secara umum adalah untuk:

- Matematika dan komputansi.
- Pengembangan dan algoritma.
- Pemodelan, simulasi dan pembuatan *prototype*.
- Analisa data, eksplorasi dan visualisasi.
- Pembuatan aplikasi termasuk pembuatan *graphical user interface*.

Matlab adalah sistem interaktif dengan elemen dasar *array* yang merupakan basis datanya. *Array* tersebut tidak perlu dinyatakan khusus seperti di bahasa pemrograman yang ada sekarang. Hal ini memungkinkan untuk memecahkan banyak masalah perhitungan teknik, khususnya yang melibatkan matriks dan vektor dengan waktu yang lebih singkat dari waktu yang dibutuhkan untuk menulis program dalam bahasa C atau Fortran. Pada intinya, Matlab merupakan sekumpulan fungsi-fungsi yang dapat dipanggil dan dieksekusi. Fungsi-fungsi tersebut dibagi-bagi berdasarkan kegunaannya yang dikelompokkan di dalam *toolbox* yang ada pada Matlab [16].

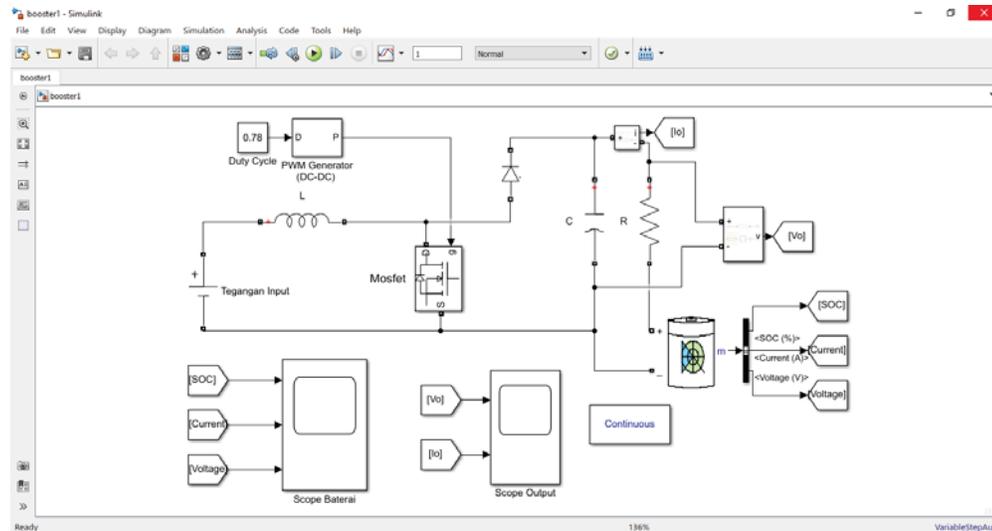
Tampilan dari Matlab dapat dilihat pada gambar 2.14.



Gambar 2.14 Tampilan Matlab

Program Matlab ini akan digunakan untuk merancang dan mensimulasikan *boost converter* konvensional dan *multilevel boost converter*. Hal ini dilakukan dengan menggunakan program simulasi yang terdapat pada Matlab agar bisa mendapat rancangan dengan nilai komponen terbaik sebelum rancangan dibuat

dalam bentuk fisik. Program simulasi yang tersebut adalah Matlab Simulink dengan tampilan yang ditunjukkan pada gambar 2.15.



Gambar 2.15 Tampilan MATLAB Simulink

Simulink adalah paket perangkat lunak untuk pemodelan, simulasi, dan analisis sistem dinamis. Sistem, bisa merupakan sistem linear dan nonlinear, dimodelkan dalam waktu kontinu, waktu sampel, atau gabungan keduanya. Sistem juga dapat *multirate*, yaitu memiliki bagian yang berbeda dengan sampel dapat diperbarui pada tingkat yang berbeda.