



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. FUEL CELL

Fuel cell adalah sebuah perangkat elektrokimia yang mengubah secara langsung energi kimia bahan bakar menjadi energi listrik melalui reaksi berpasangan oksidasi-reduksi. Sistem pembangkit listrik *fuel cell* umumnya memberikan keluaran arus listrik searah (DC) dari hasil reaksi H_2 dan O_2 . Pembangkit ini termasuk ramah lingkungan karena hanya menimbulkan panas dan air sebagai sisa dari reaksinya. Sistem pembangkit *fuel cell* saat ini semakin kompak sehingga mulai dicoba diaplikasikan pada kendaraan listrik seperti mobil, bus maupun sepeda motor. Sistem *fuel cell* harus dapat memenuhi karakteristik konsumsi energi yang dinamis pada kendaraan.

Untuk mengetahui daya *fuel cell* menggunakan rumus :

$$P = V \cdot I \dots\dots\dots(1.1)$$

Untuk mengetahui tegangan *fuel cell* menggunakan rumus :

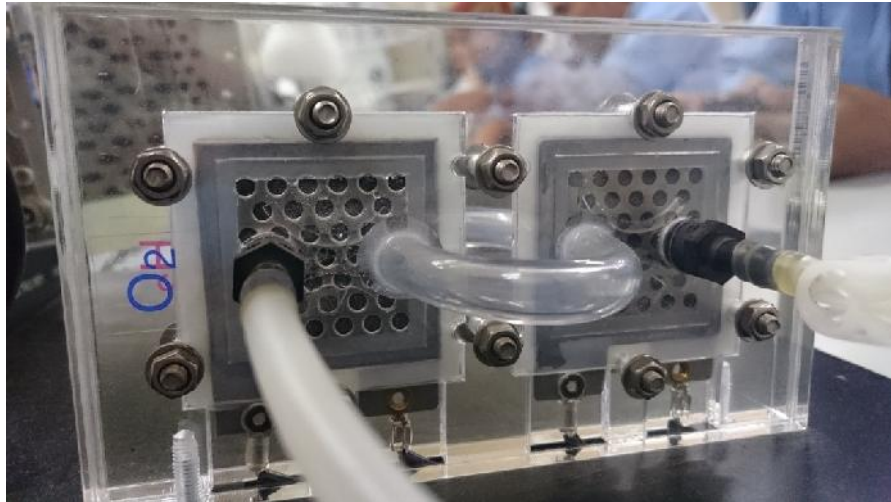
$$V = P / I \dots\dots\dots(1.2)$$

Untuk mengetahui arus *fuel cell* menggunakan rumus :

$$I = P / V \dots\dots\dots(1.3)$$

Fuel cell pada dasarnya mirip dengan baterai yaitu sumber daya yang menggunakan reaksi kimia untuk mengalirkan arus listrik. Perbedaannya terletak pada sumber energi yang didapat, jika baterai memanfaatkan reaksi kimia dan membutuhkan pengisian daya untuk mendapatkan arus listrik maka *fuel cell* tidak membutuhkan pengisian daya melainkan pengisian bahan bakar. Jadi *fuel cell* memanfaatkan bahan bakar untuk direaksikan secara elektrolisis untuk

menghasilkan elektron dan mengalirkan arus listrik. Salah satu bahan bakar yang digunakan untuk *fuel cell* adalah hidrogen.



Gambar 2.1 *Fuel Cell* ¹

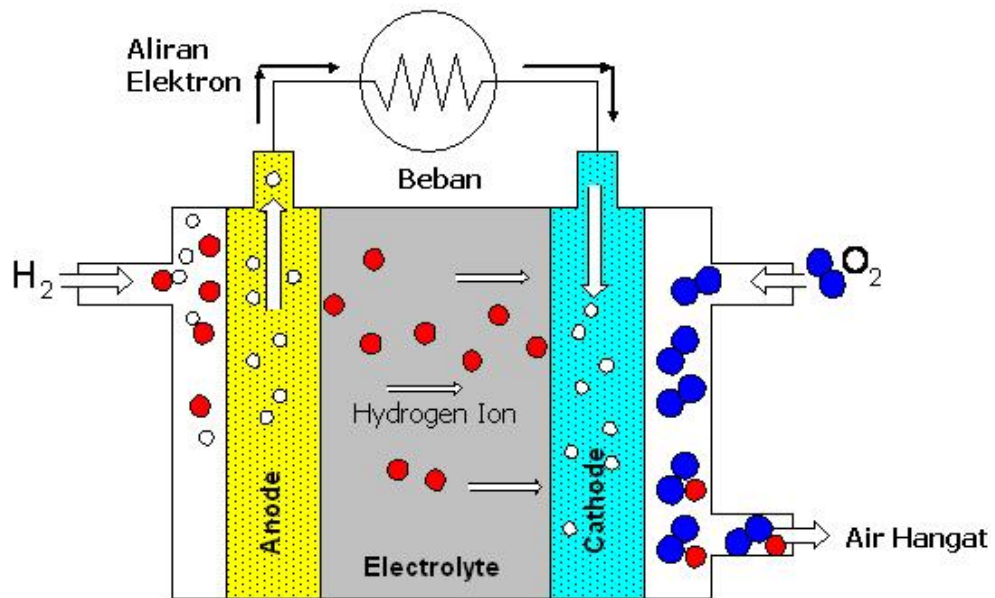
2.1.1 Prinsip Kerja *Fuel Cell*

Prinsip kerja *fuel cell* dapat dijelaskan sebagai berikut ;

1. *Fuel cell* terdiri dari dua elektroda, anoda dan katoda. Keduanya dipisahkan oleh *Polymer Electrolyte Membrane* (PEM). Setiap elektroda dilapisi dengan *platinum-based catalyst*. Hidrogen (sebagai bahan bakar) bertekanan dilewatkan ke anoda. Oksigen (sebagai oksida) diambil dari udara dengan menggunakan kompresor yang tersedia dialiri ke anoda.
2. Akibat adanya katalis, molekul H_2 terpecah menjadi dua proton dan dua elektron. Elektron dari molekul hidrogen mengalir melalui rangkaian luar menghasilkan arus listrik. Proton dan molekul hidrogen akan menembus lapisan membran dan bergabung di katode dengan elektron dan oksigen dari udara membentuk air dan menjadi panas. Dengan

¹ M.Brugmer, K.-C Tönnsen, “ Fuel Cell Technology”

teknologi *co-generation* panas ini dapat dimanfaatkan kembali untuk keperluan lain.



Gambar 2.2 Prinsip Kerja *Fuel Cell*

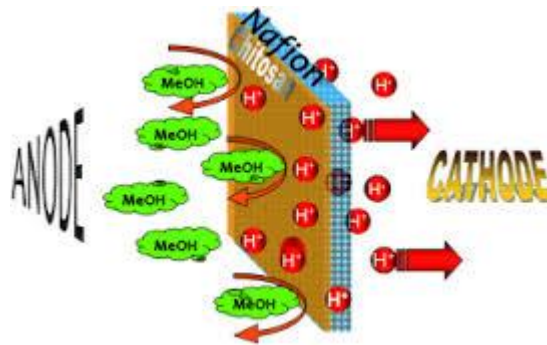
2.1.2 Komponen *Fuel Cell*

Untuk mempermudah kerja dari *Fuel cell* memerlukan komponen-komponen penunjang antara lain :

2.1.2.1 Membran

Pada sistem *fuel cell* terdapat membran elektrolit yang merupakan komponen penting dari sistem ini. Fungsi dari membran pada *fuel cell* adalah sebagai elektrolit dan pemisah dua gas reaktan. Sebagai elektrolit, membran *fuel cell* menjadi sarana transportasi ion hidrogen yang dihasilkan oleh reaksi anoda menuju katoda, sehingga reaksi pada katoda yang menghasilkan energi listrik dapat terjadi. Materialnya adalah sebuah elecrik. Dan sebagai hasilnya adalah konduksi ion terbawa dengan gugusan ionic dengan struktur polimer. Transportasi ion dalam beberapa jaringan adalah sangat dipengaruhi oleh loncatan dan air bebas yang diionisasikan dengan jaringan tersebut.

Salah satu membran *fuel cell* yang digunakan secara komersial adalah membran tetrafloro-polietilen dengan cabang gugus asam sulfonat dan belakangan ini telah dilakukan penelitian untuk mendapat membrane alternative selain nafion, yaitu membrane kitosan.



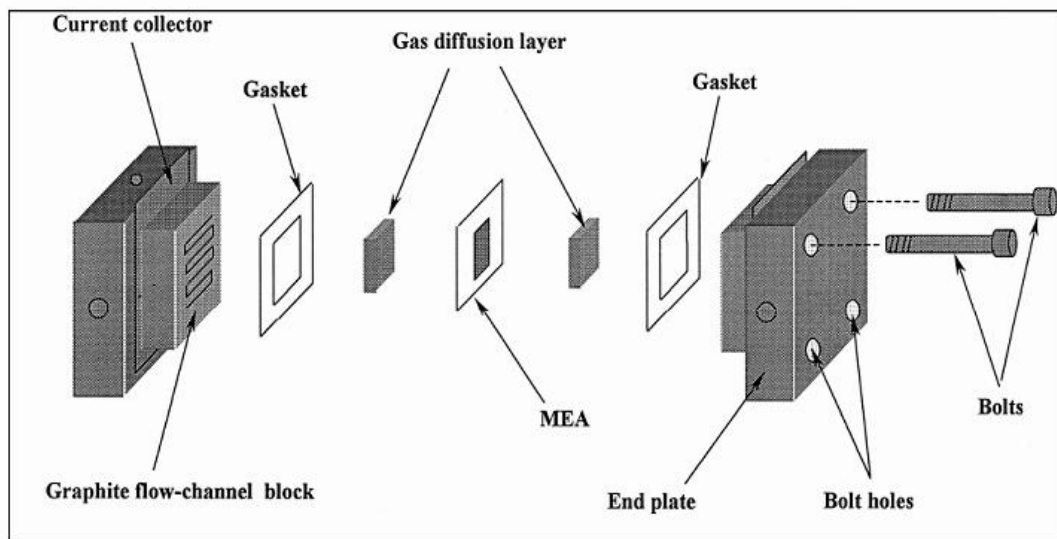
Gambar 2.3 Membran

2.1.2.2 PEM (Polymer Electrolite Membrane).

PEM *fuel cell* merupakan sumber energi yang sangat baik bila diaplikasikan pada alat transportasi, karena perangkatnya mudah didistribusikan dan mudah dibawa. Selain itu, PEM *fuel cell* memiliki potensial *solid state*, ringan, rapat arus yang tinggi, dan beroperasi pada temperatur rendah. Pada lima tahun terakhir, penelitian PEM *fuel cell* mengalami peningkatan yang signifikan. Industri otomotif melakukan investasi melalui berbagai usaha dalam mengkomersialisasi PEM *fuel cell* pada mobil, dengan harapan mampu bersaing dengan kendaraan bermesin bakar internal. Di sisi lain, ada berbagai hambatan dalam pengkomersialisasian PEM *fuel cell*, seperti kurangnya produksi hidrogen dan infrastruktur distribusi, rendahnya kerapatan/densitas wadah penyimpanan gas, masalah kekuatan susunan PEM *fuel cell*, serta biaya produksinya masih tinggi. Sebagai salah satu komponen utama dari PEM *fuel cell*, pelat bipolar membutuhkan material dan desain yang baru dalam rangka mengurangi biaya produksi serta untuk mengurangi bobot *fuel cell*.

a. Struktur PEM Fuel Cell

Gambar 2.4 menunjukkan struktur rangkaian PEM *fuel cell*² yang terdiri dari *membrane electrolyte assembly* (MEA) dengan lapisan katalis di kedua sisinya, lapisan difusi gas (GDL), *gaskets*, pelat bipolar, penyimpan arus, dan pelat penutup. PEM *fuel cell* terdiri dari 4 komponen utama seperti disajikan pada Tabel 2.1



Gambar 2.4 Struktur PEM *Fuel Cell*

Tabel 2.1 Komponen-komponen utama PEM *fuel cell*.

Komponen	Material	Fungsi
<i>Membrane electrolyte assembly</i> (MEA)	Polimer solid terimpegnasi dengan lapisan katalis pada anoda dan katoda. Kertas atau kain carbon berpori untuk lapisan difusi gas (GDL).	Terdiri dari 2 elektroda, 1 membran elektrolit dan 2 GDL. Membran memisahkan (dengan pembatas gas) 2 setengah reaksi sel dan melepas proton dari anoda ke katoda. Lapisan katalis yang terdispersi pada elektroda memacu setiap

² Muhammad Hatta Adam, *Analisa sifat mekanik*. Fakultas Teknik Universitas Indonesia, 2008

		setengah reaksi. GDL mendistribusikan gas secara merata ke katalis di membran, mengalirkan elektroda dari area aktif menuju pelat bipolar yang membantu pengaturan air.
Pelat bipolar	Grafit, <i>stainless</i> / atau komposit polimer temoplastik	Mendistribusikan gas di bagian area aktif membran. Mengalirkan elektron dari anoda menuju katoda. Membuang air keluar sel.
Pelat penutup	Material dengan kekuatan mekanik yang baik (biasanya baja atau alumunium).	Menyatukan rangkaian <i>fuel cell</i> .
Penyimpan arus	Logam dengan kontak elektrik dan konduktifitas yang baik (biasanya tembaga).	Menyimpan dan mentransfer arus listrik dari dalam keluar sirkuit.

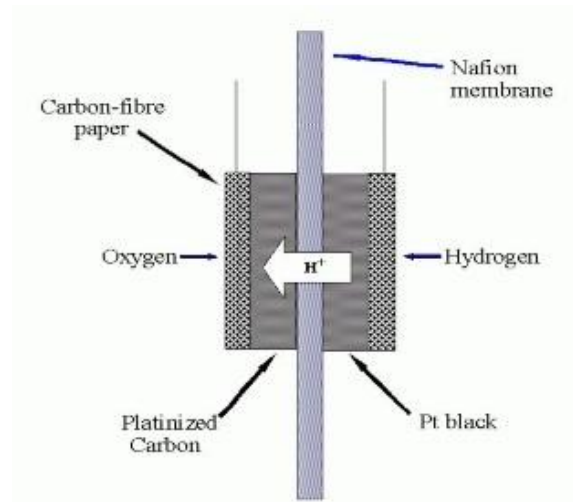
- MEA (**MEMBRANE ELEKTRODE ASSEMBLY**)

Membrane electrode assembly (MEA)³ adalah sebuah lembaran tipis yang merupakan gabungan dari elektrolit (membran), elektroda (*carbon paper*) dan katalis. Katalis dan elektroda ditempelkan perhimpitan pada kedua sisi membran sebagai sisi anoda dan katoda.

Komponen MEA berfungsi untuk memisahkan setengah reaksi reduksi dan oksidasi. Membran ini melewati elektron untuk dapat bereaksi secara penuh

³Muhammad Hatta Adam, *Analisa sifat mekanik*. Fakultas Teknik Universitas Indonesia, 2008

dan juga memaksa elektron untuk melalui saluran eksternal. Sementara lapisan katalis berfungsi untuk menstimulasi masing-masing setengah reaksi tersebut.

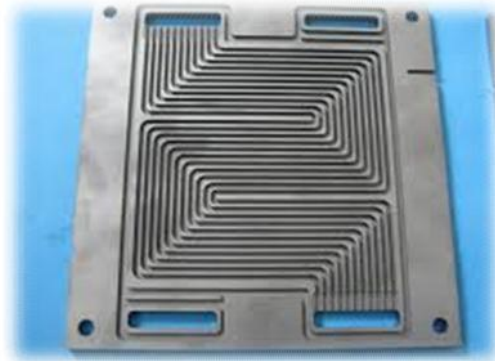


Gambar 2.5 MEA (*Membrane Elektrode Assembly*)

- *Gas Diffusion Layer*

Lapisan difusi gas (GDL) merupakan salah satu komponen terpenting dalam sel bahan bakar, yang fungsinya mencakup berbagai operasi : untuk menyediakan lintasan akses reaksi dan produk hasil penghilangan air, untuk menghasilkan listrik dan panas antara komponen sekitar dan memberikan dukungan untuk MEA. Perangkat GDL sangat tergantung pada tekanan kompresi. Pada kenyataannya tekanan kompresi dalam GDL adalah tidak homogen karena struktur saluran adalah plat bipolar.

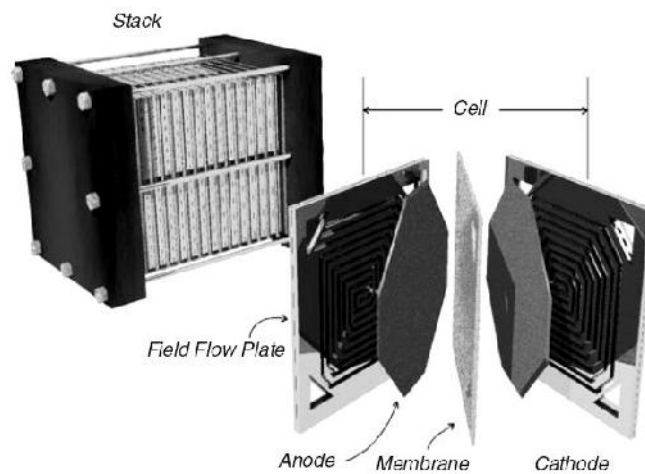
Pelat bipolar atau pelat bidang alir (*flow field plate*) digunakan sebagai penghubung antara dua elektroda berbeda kutub. Pelat bipolar dibuat dari material yang mampu mengalirkan listrik dan tidak dapat ditembus gas, fungsinya sebagai penyimpan arus dan sebagai struktur penguat rangkaian *fuel cell*. Pelat ini biasa dibuat dari grafit, logam (aluminium, *stainless steel*, titanium, dan nikel), atau dapat juga dibuat dari komposit. Saluran alir gas dicetak pada permukaan pelat sebagai tempat aliran gas-gas yang bereaksi. Gambar 2.3 di bawah ini menunjukkan sebuah pelat bipolar PEM *fuel cell* dengan saluran alir.



Gambar 2.6 Pelat Bipolar Dengan Saluran Alir.

Pelat bipolar memiliki banyak fungsi dalam lingkungan operasi PEM *fuel cell*. Fungsi utama pelat bipolar adalah sebagai berikut:

- Mengalirkan elektron ke seluruh sirkuit:
 - Mengumpulkan dan memindahkan elektron dari anoda dan katoda,
 - Menyatukan rangkaian *fuel cell* yang dilengkapi voltase (rangkain *fuel cell* tergantung pada bentuk pelat bipolar);
 - Mengalirkan dan mendistribusikan gas ke elektroda secara merata;
- Memisahkan oksigen dan bahan bakar gas, memasukkan H_2 ke anoda dan O_2 ke katoda, serta membuang air hasil reaksi;
- Sebagai penguat mekanik sekaligus penahan membran tipis dan elektroda, serta sebagai penjepit rangkain *fuel cell* seperti terlihat pada gambar 2.4;
- Sebagai konduktor panas untuk meregulasikan temperatur *fuel cell* dan memindahkan panas dari elektroda ke saluran pendingin.



Gambar 2.7 Letak Pelat Bipolar

Ada berbagai jenis material yang dapat digunakan untuk material pelat bipolar, seperti logam dengan atau tanpa pelapisan, grafit, komposit karbon/polimer, komposit karbon. Pelat logam sering dilapisi dengan lapisan antikorosi pada permukaannya, sementara pelat grafit diimpregnasi dengan *sealant treatment* untuk mengurangi daya tembus gas. Berbagai penelitian terbaru telah dilakukan untuk membuat pelat bipolar yang murah, ringan, dan berdaya guna, sehingga dapat menggantikan pelat grafit yang harganya masih mahal. Jenis material pelat bipolar dan sifat-sifatnya disajikan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Sifat – sifat material untuk pelat bipolar

Jenis material	Sifat-sifat
Grafit	-Diimpregnasi dengan polimer -Konduktifitas tinggi -Getas dan tebal -Biaya untuk membuat saluran air mahal
Logam atau paduan logam	-<i>Stainless steel</i>, paduan Ni-Cr, paduan Al, baja Ti

	-Konduktifitas tinggi -Masalah korosi
Komposit	-Komposit polimer/karbon -Komposit karbon/karbon -Ringan dan murah -Konduktifitas rendah dibanding grafit dan logam
Plastik konduktif	-Polimer cair kristalin (<i>liquid crystal polimer</i>) -Konduktifitas relatif rendah

2.2 Konverter DC DC

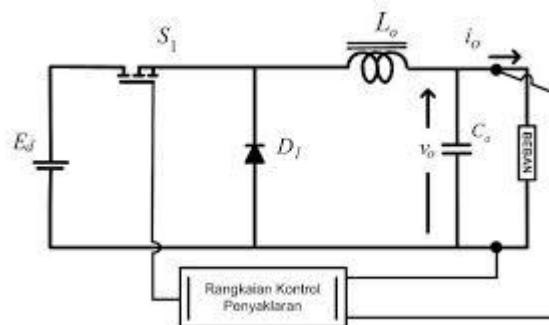
Power suplay atau dalam bahasa indonesia lebih dikenal dengan istilah catu daya berfungsi untuk mengkonversikan satu bentuk sumber listrik ke beberapa bentuk tegangan dan arus yang dibutuhkan oleh satu atau lebih beban listrik. Sistem catu daya modern saat ini bekerja dalam mode pensaklaran, (*switching*) dan mempunyai efisiensi yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan sistem catu daya linear. Salah satu komponen utama dari sistem catu daya mode pensaklaran adalah konverter DC-DC.

Konverter DC-DC adalah suatu alat yang digunakan untuk mengubah suatu tegangan searah ke tegangan searah lain dengan nilainya dapat ditingkatkan atau diturunkan^[3]. Konverter DC-DC berlaku seperti halnya trafo/transformer yang mengubah tegangan AC tertentu ke tegangan AC yang tinggi atau lebih rendah. Konverter DC-DC dapat dibagi menjadi 2 kategori besar yaitu yang terisolasi dan yang tak terisolasi. Kata ‘isolasi’ disini secara sederhana bermakna adanya penggunaan trafo (isolasi galvanis) antara tegangan masukan dan tegangan keluaran konverter DC-DC yang tak terisolasi dengan istilah *direct converter* dan konverter yang terisolasi dengan istilah *indirect converter*. Ada lima rangkaian dasar dari konverter DC-DC yaitu buck, boost, buck-boost, cuk, dan sepic⁴.

⁴ <https://indone5ia.wordpress.com/2011/09/02/sekilas-mengenai-konverter-dc-dc>, 13 april 2015

2.2.1 Penurun Tegangan (*Buck Converter*)

Konverter jenis *buck* merupakan konverter penurun tegangan yang mengkonversikan tegangan masukan DC menjadi tegangan DC lainnya yang lebih rendah. Seperti terlihat pada gambar 2.5, rangkaian ini terdiri atas satu saklar aktif (MOSFET), satu saklar pasif (diode). Kapasitor dan induktor sebagai tapis keluarannya.



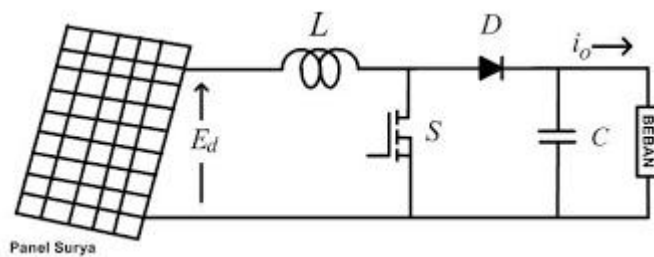
Gambar 2.8 Rangkaian Konverter Tipe *Buck*.

Untuk tegangan kerja yang rendah, saklar pasif (dioda) sering diganti dengan saklar aktif (MOSFET) sehingga susut daya pada saklar bisa dikurangi. Apabila menggunakan 2 saklar aktif, kedua saklar ini akan berkerja secara bergantian hanya ada satu saklar yang menutup setiap saat. Nilai rata-rata tegangan keluaran konverter sebanding dengan rasio antara waktu penutupan saklar (saklar konduksi/ON) terhadap periode penyaklarannya. Biasanya nilai faktor daya ini yang lebih tinggi, saklar akan berkerja dibawah keandalannya dan menyebabkan efisiensi konverter turun. Untuk rasio yang sangat tinggi, biasanya digunakan konverter DC-DC yang terisolasi atau topologi yang dilengkapi dengan trafo.

2.2.2 Penaik Tegangan (*Boost Converter*)

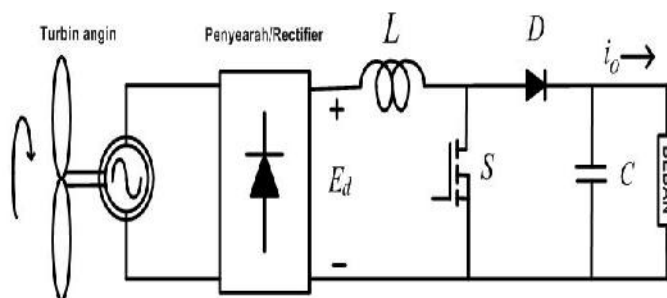
Konverter *boost* berfungsi untuk menghasilkan tegangan keluaran yang lebih tinggi dibanding tegangan masukannya atau biasa disebut dengan konverter penaik tegangan. Konverter ini banyak dimanfaatkan untuk aplikasi pembangkit listrik tenaga surya dan turbin angin.

Skema konverter jenis ini dapat dilihat pada gambar 2.9 dan gambar 2.10, dimana komponen utamanya terdiri atas MOSFET, dioda, induktor dan kapasitor. Jika saklar MOSFET pada kondisi tertutup, arus akan mengalir ke induktor sehingga menyebabkan energi yang tersimpan di induktor akan turun. Rasio antara tegangan keluaran dan tegangan masukan konverter sebanding dengan rasio antara periode penyaklaran dan waktu pembukaan saklar. Keunggulan dari konverter *boost* adalah mampu menghasilkan arus asukan yang kontiniu.



Gambar 2.9 Rangkaian Konverter DC-DC tipe *Boost*.

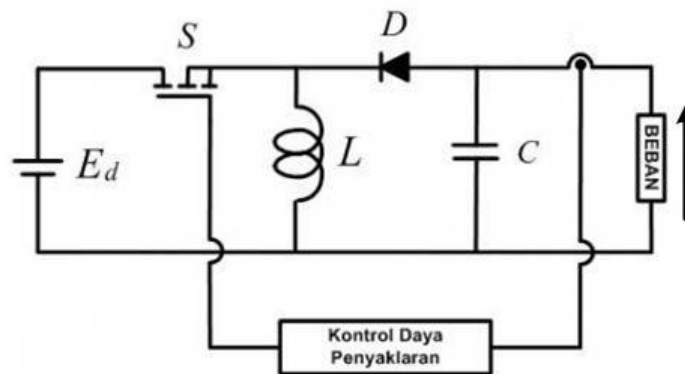
Karena arus masukan konverter dapat dijaga kontiniu, pada saat konverter ini diserikan dengan penyearah dioda, konverter ini tidak menimbulkan harmonisa pada arus sumber penyearah dioda. Atau dengan kata lain, arus sumber mempunyai bentuk gelombang mendekati dengan faktor daya sama dengan satu.



Gambar 2.10 Rangkaian Konverter DC-DC tipe *Boost* + penyearah dioda (faktor daya satu).

2.2.3 Penurun-Penaik Tegangan (*Buck-Boost Converter*)

Konverter *buck-boost* dapat menghasilkan tegangan keluaran yang lebih rendah atau lebih tinggi dari pada sumbernya. Skema konverter ini dapat dilihat pada gambar 2.8. Rangkaian kontrol daya penyaklaran akan memberikan sinyal kepada MOSFET. Jika MOSFET OFF maka arus akan mengalir ke induktor, energi yang tersimpan di induktor akan naik. Saat saklar MOSFET ON energi di induktor akan turun dan arus mengalir menuju beban. Dengan cara seperti ini, nilai rata-rata tegangan keluaran akan sesuai dengan rasio antara waktu oembukaan dan waktu penutupan saklar. Hal inilah yang membuat topologi ini bisa menghasilkan nilai rata-rata tegangan keluaran/beban bisa lebih tinggi maupun lebih rendah dari pada tegangan sumbernya.

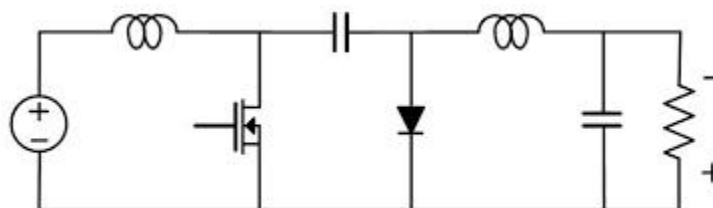


Gambaar 2.11 Rangkaian Konverter DC-DC Tipe *Buck-Boost*.

Masalah utama dari konverter *buck-boost* adalah membutuhkan tapis induktor dan kapasitor yang besar di kedua sisi masukan dan keluaran konverter, karena konverter dengan topologi seperti ini menghasilkan riak arus yang sangat tinggi. Adapun yang perlu diperhatikan juga disini adalah tegangan keluaran konverter *buck-boost* bernilai negatif atau berkebalikan dengan sumber tegangan masukan.

2.2.4 CUK

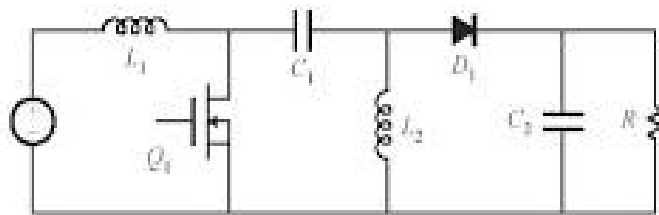
seperti halnya tipe *buck-boost*, konverter DC-DC topologi ini juga dapat menghasilkan tegangan keluaran yang lebih kecil ataupun lebih besar dari pada sumber tegangan. Dengan tambahan induktor dan kapasitor pada sisi masukan, membuat topologi ini manghasilkan riak arus yang lebih kecil dari pada topologi *buck-boost*.



Gambar 2.12 Rangkaian konverter DC-DC Tipe *CUK*.

2.2.5 SEPIC

Konverter topologi ini adalah perbaikan dari topologi konverter DC-DC tipe CUK. Konverter topologi ini memungkinkan untuk menghasilkan tegangan keluaran yang berpolaritas sama dengan sumber tegangan masukan.

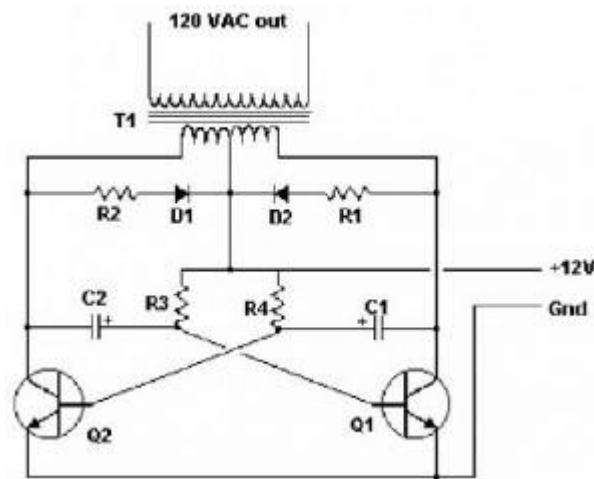


Gambar 2.13 Rangkaian Konverter Tipe SEPIC

2.3 Inverter

Inverter adalah konverter daya listrik yang mengubah arus searah (DC) menjadi alternating current (AC)⁵. Komponen semikonduktor daya yang digunakan dapat berupa SCR, transistor, dan MOSFET yang beroperasi sebagai sakelar dan pengubah. Inverter dapat diklasifikasikan dalam dua jenis, yaitu: inverter satu fasa dan inverter tiga fasa. Setiap jenis inverter tersebut dapat dikelompokkan dalam empat kategori ditinjau dari jenis rangkaian komutasi pada SCR, yaitu: (1) modulasi lebar pulsa, (2) inverter resonansi, (3) inverter komutasi bantu, dan (4) inverter komutasi komplemen. Keluaran inverter dapat berupa tegangan yang dapat diatur dan tegangan yang tetap. Sumber tegangan input inverter dapat berupa baterai, cell bahan bakar, tenaga surya atau sumber tegangan DC yang lain. Contoh rangkaian dasar inverter yang sederhana dapat dilihat pada gambar berikut;

⁵<http://mujangdwi.blogspot.com/2013/01/pengertian-dasar-inverter.html>, 13 april 2015



Gambar 2.14 Contoh Rangkaian Inverter Sederhana

Inverter disebut sebagai inverter catu-tegangan (voltage-fed inverter-VFI) apabila tegangan masukan selalu dijaga konstan, disebut inverter catu-arus (current-fed inverter-CFI) apabila arus masukan selalu dipelihara konstan, dan disebut inverter variabel (variable dc linked inverter) apabila tegangan masukan dapat diatur. Selanjutnya, jika ditinjau dari proses konversi, inverter dapat dibedakan dalam tiga jenis, yaitu inverter : seri, paralel, dan jembatan. Inverter jembatan dapat dibedakan menjadi inverter setengah-jembatan (half-bridge) dan jembatan (bridge). Berdasarkan jumlah fasa output inverter dapat dibedakan dalam ; inverter 1 fasa, yaitu inverter dengan output 1 fasa dan inverter 2 fasa, yaitu inverter dengan output 3 fasa.

2.3.1 Bagian – bagian Inverter⁶

2.3.1.1 Dioda

Dioda berfungsi unik yaitu hanya dapat mengalirkan arus satu arah saja. Struktur dioda tidak lain adalah sambungan semikonduktor P dan N. untuk

⁶ Prof. Dr. Zuhail M.Sc.EE dan Ir. Zhanggishan “Prinsip Dasar Elektroteknik” (Bandung : penerbit ITB 2013) hal:655

memperbolehkan arus listrik mengalir dalam suatu arah (disebut kondisi bias maju) dan untuk menahan arus dari arah sebaliknya (disebut kondisi bias mundur).

2.3.1.2 Kapasitor

Kapasitor adalah suatu komponen elektronika yang berfungsi untuk menyimpan arus listrik dalam bentuk muatan. sebuah kapasitor pada dasarnya terbuat dari dua buah lempengan logam yang saling sejajar satu sama lain dan diantara kedua logam tersebut terdapat bahan isolator yang sering disebut dielektrik.

2.3.1.3 Resistor

Resistor adalah salah satu komponen elektronika yang berfungsi sebagai penahan arus yang mengalir dalam suatu rangkaian dan berupa terminal dua komponen elektronik yang menghasilkan tegangan pada terminal

2.3.1.4 Trafo

Trafo berfungsi untuk memindahkan tenaga dari input ke output. Bagian step-up, bagian ini berfungsi untuk menaikkan tegangan dari 12 volt DC menjadi 220 volt AC. komponen yang digunakan untuk melakukan tugas step-up ini adalah sebuah transformer dengan sisi sekunder CT 12 volt dan primer 220 volt.

2.3.1.5 Mosfet

pada rangkaian inverter mosfet berfungsi Sebagai Saklar , Contoh : Pada Rangkain Inverter DC-AC

2.3.1.6 IC CD40047

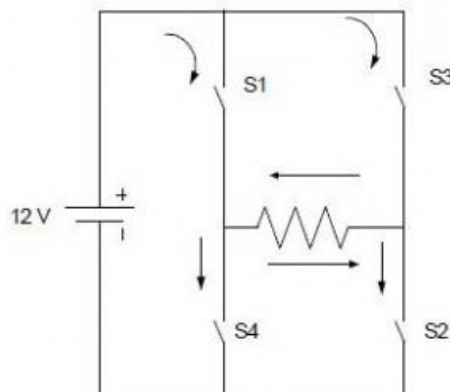
IC CD40047 berfungsi sebagai pembangkit pulsa, bagian ini berfungsi untuk membangkitkan pulsa dengan frekuensi 50 – 60 hz untuk menggerakkan sistem switching transformator. Rangkaian pembangkit pulsa dibuat dengan IC CD4047 yang diset sebagai multivibrator astabil dengan output Q dan Q yang masing-masing berfungsi memberikan pulsa input untuk menggerakkan sistem switching transformer.

2.3.1.7 LED

LED digunakan sebagai indikator inputan.

2.3.2 Prinsip Kerja Inverter

Prinsip kerja inverter⁷ dapat dijelaskan dengan menggunakan 4 sakelar seperti ditunjukkan pada diatas. Bila sakelar S1 dan S2 dalam kondisi on maka akan mengalir aliran arus DC ke beban R dari arah kiri ke kanan, jika yang hidup adalah sakelar S3 dan S4 maka akan mengalir aliran arus DC ke beban R dari arah kanan ke kiri. Inverter biasanya menggunakan rangkaian modulasi lebar pulsa (pulse width modulation – PWM) dalam proses conversi tegangan DC menjadi tegangan AC. Inti prinsip kerja dari rangkaian inverter yaitu mengubah tegangan DC 12v menjadi tegangan AC 220v.



Gambar 2.15. Prinsip Kerja Inverter

⁷ <http://elektronika-dasar.web.id/artikel-elektronika/inverter-dc-ke-ac/>, 14 april 2015

